

THÈSE DE

PARIS.

1889

N^o. 109.

N^o 124

ORDRE

667

THÈSES

PRÉSENTÉES

A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE PARIS

POUR OBTENIR

LE GRADE DE DOCTEUR ÈS SCIENCES NATURELLES

PAR

A. SEIGNETTE

AGRÉGÉ DES SCIENCES NATURELLES

PROFESSEUR AU LYCÉE CONDORCET

1^{re} THÈSE. — RECHERCHES ANATOMIQUES ET PHYSIOLOGIQUES SUR
LES TUBERCULES.

2^e THÈSE. — PROPOSITIONS DONNÉES PAR LA FACULTÉ.

Soutenues le *1^{er} Août* 1889, devant la Commission d'examen.

MM. HÉBERT..... *Président.*

DELAGÉ.....

G. BONNIER..... } *Examineurs.*

PARIS

LIBRAIRIE PAUL KLINCKSIECK

52, RUE DES ÉCOLES, 52

EN FACE DE LA SORBONNE

1889



SÉRIE A, N° 124

N° D'ORDRE

667

THÈSES

PRÉSENTÉES

A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE PARIS

POUR OBTENIR

LE GRADE DE DOCTEUR ÈS SCIENCES NATURELLES

PAR

A. SEIGNETTE

AGRÉGÉ DES SCIENCES NATURELLES

PROFESSEUR AU LYCÉE CONDORCET

1^{re} THÈSE. — RECHERCHES ANATOMIQUES ET PHYSIOLOGIQUES SUR
LES TUBERCULES.

2^e THÈSE. — PROPOSITIONS DONNÉES PAR LA FACULTÉ.

Soutenues le *1^{er} Août* 1889, devant la Commission d'examen.

MM. HÉBERT..... *Président.*

DELAGE..... }
G. BONNIER..... } *Examineurs.*

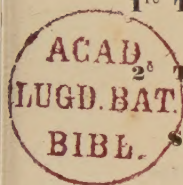
PARIS

LIBRAIRIE PAUL KLINCKSIECK

52, RUE DES ÉCOLES, 52

EN FACE DE LA SORBONNE

1889



ACADÉMIE DE PARIS

FACULTÉ DES SCIENCES DE PARIS

MM.

Doyen.....	HÉBERT, Professeur....	Géologie.
Professeurs honoraires.	{ PASTEUR.	
	{ DUCHARTRE.....	Botanique.
	DE LACAZE-DUTHIERS.	Zoologie, Anatomie, Physio- logie comparée.
	HERMITE	Algèbre supérieure.
	TROOST.....	Chimie.
	FRIEDEL.....	Chimie organique.
	O. BONNET.....	Astronomie.
	DARBOUX.....	Géométrie.
	TISSERAND.....	Astronomie.
	LIPPMANN.....	Physique.
	HAUTEFEUILLE.....	Minéralogie.
	BOUTY.....	Mécanique rationnelle.
Professeurs.....	{ APPELL.....	Physique.
	{ DUCLAUX.....	Chimie Biologique.
	BOUSSINESQ.....	Mécanique physique et expé- rimentale.
	PICARD.....	Calcul différentiel et calcul intégral.
	POINCARÉ.....	Calcul des probabilités, Phy- sique, mathématiques.
	Y. DELAGE.....	Zoologie, Anatomie, Physio- logie comparée.
	BONNIER.....	Botanique.
	DASTRE.....	Physiologie.
	DITTE.....	Chimie.
	{ WOLF	Physique céleste.
Professeurs adjoints....	{ J. CHATIN.....	Zoologie, Anatomie, Physio- logie comparée.
	{ JOLY.....	Chimie.
Secrétaire.....	PHILIPPON.	

LES TUBERCULES

PAR A. SÉBASTIEN

A

M. GASTON BONNIER

PROFESSEUR DE BOTANIQUE A LA SORBONNE



Digitized by the Internet Archive
in 2026

RECHERCHES ANATOMIQUES ET PHYSIOLOGIQUES

SUR

LES TUBERCULES

Par M. A. SEIGNETTE

INTRODUCTION.

Les plantes vivaces et bisannuelles accumulent dans certains de leurs organes des réserves nutritives spéciales; ces réserves leur permettent, soit de continuer à vivre d'une saison à l'autre, soit de se multiplier, en détachant de l'être qui les a produits des parties contenant une provision de nourriture; ces fragments isolés peuvent chacun devenir le point de départ d'un individu nouveau.

Le plus souvent, les organes où s'accumulent ces réserves sont relativement renflés, par rapport aux organes similaires qui sont à l'état de vie active. Ce sont ces parties renflées, quelles que soient leur nature et leur origine, qu'on désigne habituellement sous le nom de tubercules. D'ailleurs, que la portion de la plante considérée soit très renflée à l'extérieur ou qu'elle le soit à peine, j'appellerai *tubercules* toutes les parties du végétal où s'accumule à un moment donné une réserve spéciale dont le but déterminé est la perpétuation et la multiplication de la plante.

Dans nos pays, ce sont ordinairement les organes souterrains des végétaux qui produisent les tubercules; mais qu'ils soient souterrains, ou qu'ils soient aériens, ce qui arrive d'ailleurs assez rarement, les tubercules peuvent être constitués par l'un des membres de la plante ou par plusieurs d'entre eux à la fois.

Je me suis proposé, dans ce travail, d'étudier au point de vue de leur morphologie extérieure et de leur structure un certain nombre de tubercules appartenant aux types les plus différents (1). Pour plusieurs d'entre eux, j'ai essayé de décrire l'histoire de leur développement depuis le premier début jusqu'à la destruction totale, en y joignant quelques recherches sur les modifications chimiques.

J'ai ajouté à ces descriptions un certain nombre de recherches physiologiques relatives soit aux variations du poids sec des tubercules, soit surtout aux modifications de leur température pendant leur évolution.

Aucun travail général n'a été publié jusqu'à présent sur cette question, et l'on trouve des contradictions assez nombreuses sur plusieurs points spéciaux dans les résultats acquis par les différents auteurs; aussi ai-je cru qu'il pouvait être de quelque utilité de grouper dans un ensemble de recherches à la fois morphologiques et physiologiques les résultats des observations et des expériences que j'ai faites sur les tubercules.

On conçoit facilement qu'étant donnée l'extension du mot tubercule adoptée plus haut, une bibliographie comprenant tous les travaux publiés sur les réserves déterminées des plantes serait par trop étendue. C'est pourquoi je me bornerai à donner quelques indications historiques.

Tournefort (2), Linné (3), Hedwig (4), et bien plus récemment Richard (5) ont considéré comme des racines toutes les parties souterraines des plantes. Grew (6), de Candolle (7), Sprengel (8), Bischoff, Dutrochet (9) distinguèrent les premiers les organes souterrains qui doivent être considérés comme des tiges ou comme des bourgeons, de ceux qui sont de vraies racines. C'est à

(1) J'ai étudié particulièrement les tubercules d'une cinquantaine d'espèces faisant partie des familles les plus diverses.

(2) *Hist. rei herb.*, I, 673, 1694.

(3) *Philosophia botanica*, p. 37 et 50, 1753.

(4) Voyez : de Candolle, *Organographie végétale*, I, p. 242.

(5) *Eléments de botanique*, 1866, p. 93.

(6) Fig. 4, pl. V.

(7) *Flore française*, 3^e édition, p. 65.

(8) *Studium der Gen.*, I, 249, 1821.

(9) *Mémoires du Muséum*, p. 425, 1821.

la suite des travaux de ces auteurs que A. de Saint-Hilaire (1) a désigné les tiges souterraines sous le nom de « rhizomes ».

Il faut citer d'une manière toute spéciale les importantes recherches de T. Irmisch (2), qui a non seulement décrit les tubercules d'un certain nombre de plantes, mais qui a exposé avec un soin minutieux tout leur développement.

Or, ce n'est bien souvent qu'en suivant toutes les phases de l'évolution d'un tubercule (et les travaux d'Irmisch le montrent bien), que l'on peut arriver à déterminer par la morphologie extérieure quels sont les organes auxquels il correspond.

M. Clos a indiqué la nature morphologique d'un certain nombre de tubercules; il a proposé de les classer, d'après leur origine, en tubercules radicaux, du collet, du collet et de la souche, hypomérithalliens, monomérithalliens, polymérithalliens, adventifs et lenticellaires.

G. de Saint-Pierre (3), en 1870, a proposé une autre manière de classer les parties souterraines des végétaux; mais cette classification est compliquée, encombrée de termes nouveaux, et renferme d'importantes erreurs. C'est à la même époque que Royer a donné les résultats d'importantes études sur la morphologie extérieure et sur le développement des tubercules (4). Ce botaniste a publié un ouvrage remarquable qui, sous le titre modeste de *Flore de la Côte-d'Or*, renferme un très grand nombre d'observations inédites sur les parties souterraines des plantes (5). Royer a aussi très bien mis en évidence un fait général auquel il a donné le nom de « loi de niveau ». Cette loi peut s'énoncer de la manière suivante : dans des conditions déterminées, les parties souterraines d'une même plante tendent à accumuler leurs réserves à une distance constante de la surface du sol.

Mais, malgré les travaux de morphologie externe tels que ceux

(1) *Morphologie végétale*, p. 106, 1840.

(2) *Zur Morphologie der monokotylytischen Knollen und Zwiebelgewächsen*. Berlin, 1850. — Abhandl. d. natur. Gesels. zu Halle, 1853, t. III. — *Annales des sciences naturelles*. Bot. : 4^e série, t. VI, p. 274.

(3) *Bulletin de la Société botanique de France*, 1869, 1870 et 1872.

(4) *Bulletin de la Société botanique de France*, 1870 à 1872.

(5) *Flore de la Côte-d'Or*, 1881.

d'Irmisch et de Royer, la nature des parties tubérifiées est souvent indéterminable, si l'on n'a pas recours à l'anatomie; ce n'est pas seulement l'anatomie des organes adultes, mais aussi l'anatomie des tissus en voie de développement, qui est souvent nécessaire pour la détermination morphologique d'un tubercule.

C'est seulement à propos d'autres sujets d'étude que l'on a décrit la structure des organes tubérifiés. Il serait impossible de citer tous les auteurs qui se sont occupés accidentellement de cette question; on trouve dans le mémoire de M. Costantin (1) l'indication des principales recherches qui y sont relatives. Je citerai d'ailleurs dans le courant de ce travail les indications bibliographiques qui se rapportent à certains points particuliers.

Quant à la physiologie et à la composition chimique des tubercules, je donnerai aussi dans le courant du texte les indications bibliographiques nécessaires.

(1) Costantin, *Étude comparée des tiges aériennes et des tiges souterraines des Dicotylédones*. (Annales des sciences naturelles. Bot. 1883.)

PREMIÈRE PARTIE

MORPHOLOGIE EXTERNE ET ANATOMIE DES TUBERCULES.

Pour plus de clarté dans l'exposition, j'ai réparti les tubercules étudiés en diverses catégories d'après la nature des membres de la plante qui les constituent, suivant que les tissus secondaires y sont plus ou moins développés, ou suivant qu'ils appartiennent à des Monocotylédones ou à des Dicotylédones.

Je vais décrire successivement les tubercules qui sont formés par :

- I. — LA TIGE ;
- II. — LA RACINE ;
- III. — LA TIGE ET LA RACINE ;
- IV. — LES FEUILLES ;
- V. — LA TIGE, LES FEUILLES ET LA RACINE ;
- VI. — LA FLEUR.

I. — TIGE.

1. Tubercules formés par la tige avec peu ou pas de formations secondaires.

1^o — *Dicotylédones.*

Un certain nombre de Dicotylédones ont leur tubercule souterrain formé par des renflements de la tige sans que l'épaississement de la partie tubérisée tienne à l'extension des tissus secondaires ; c'est au grand développement du parenchyme primaire de l'écorce ou du cylindre central qu'est dû presque uniquement le renflement de la tige.

J'étudierai en détail la morphologie, le développement et la

structure du *Stachys tuberifera*, et je passerai ensuite en revue divers types de tubercules appartenant à des familles très différentes.

1. *Stachys tuberifera*. — 1° *Morphologie externe*. — Les tubercules de *Stachys tuberifera*, connus dans le commerce français sous le nom de Crosnes du Japon (1), sont formés par les entre-nœuds courts et larges des tiges souterraines.

La dimension de ces tubercules est assez variable : les plus longs que j'ai pu observer atteignaient 8 centimètres de longueur, les plus larges avaient 2 centimètres de diamètre; en général, ils sont beaucoup plus petits.



Fig. 1. — Tubercule de *Stachys tuberifera*, à l'automne; le tubercule est formé par le renflement terminal d'une tige souterraine.

Ces tubercules sont blancs; à chacun des nœuds qui séparent les entre-nœuds renflés, on voit deux écailles opposées : ces écailles triangulaires, charnues, ont de 3 à 6 millimètres de longueur, et présentent de loin en loin à leur aisselle des bourgeons élargis et renflés.

La direction des tubercules dans le sol n'est pas toujours la même : la plupart sont dirigés vers le bas avec une légère inclinaison vers l'extérieur (fig. 1), le bourgeon terminal étant tourné en bas.

Au printemps, ce bourgeon terminal se développe et s'allonge en donnant naissance à une tige n'ayant que 1 ou 2 millimètres de diamètre. Cette tige prend la direction verticale et se développe franchement de bas en haut, en formant des entre-nœuds allongés; en même temps que se produit cet allongement, on voit se former de petites saillies au-dessus et au-dessous des écailles (r, fig. 2) qui se trouvent à chaque nœud de cette tige grêle. Ces saillies, qui vont donner naissance à des racines adventives, sont disposées symétriquement deux par deux au-dessus et au-dessous de chaque écaille des nœuds. Il naît donc ainsi

(1) J'ai à remercier vivement M. de Barrau de Muratel, qui m'a envoyé plusieurs fois de très nombreux échantillons de cette plante à divers états de développement.

de chaque nœud huit racines adventives (*r*, fig. 3) qui atteignent plusieurs centimètres ; les plus développées sont les plus inférieures, c'est-à-dire celles qui naissent le plus près du tubercule.

Le plus grand nombre des bourgeons latéraux du tubercule



Fig. 2. — Fragment d'une jeune tige souterraine de *Stachys tubrifera*: *f*, écaille; *r*, point de départ de l'une des quatre racines; *t*, tige.



Fig. 3. — Fragment d'une tige souterraine plus âgée que dans la figure 2: *f*, écaille; *r*, racines; *b*, bourgeon; *t*, tige.

avorte : il est rare qu'il s'en développe plus de trois ; les tiges grêles qui naissent de ces bourgeons se comportent comme celle qui naît du bourgeon terminal (fig. 4).

Les tiges verticales ascendantes ainsi formées conservent un



Fig. 4. — Tubercule de *Stachys tubrifera*, développant ses bourgeons au printemps.

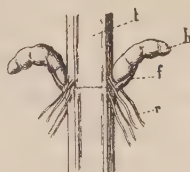


Fig. 5. — Développement des branches souterraines sur le rhizome du *Stachys tubrifera*: *f*, écaille; *r*, racines; *b*, bourgeons se développant; *t*, tige souterraine initiale.

certain temps leur dimension grêle ; puis, cette tige augmente sensiblement d'épaisseur en approchant de la surface du sol ; les entre-nœuds profonds sont sensiblement plus longs que les entre-nœuds supérieurs ; ceux qui sont presque à la surface du sol sont très courts ; les entre-nœuds sont, au contraire, de nou-

veau allongés dans la tige aérienne, tout en devenant cinq ou six fois plus larges.

La rapidité d'ascension de la tige grêle est variable avec la température, et n'est pas la même pour tous les tubercules : à la température de 16° et pour des tubercules situés à 8 centimètres de profondeur, je l'ai trouvée de 2 à 4 millimètres en vingt-quatre heures.

L'accroissement de la tige feuillée est très considérable ; j'ai constaté que, dans de bonnes conditions, il est d'environ 1 centimètre par jour. Ces tiges à feuilles d'un vert sombre et qui sont réunies par touffes épaisses ne produisent pas de fleurs dans nos climats.

Quel que soit le nombre des tiges feuillées fournies par un tubercule, ce tubercule se détruit toujours de la même manière : il se renfle, devient mou, se ride et noircit ; puis il disparaît enfin, en cédant toutes ses réserves. Bien avant que la tige aérienne ait atteint tout son développement, il n'en reste plus rien : la plante est donc dans cette période de son existence entièrement dépourvue de réserves ; mais à cette époque les huit racines adventives qui partent de chaque nœud et dont nous avons parlé plus haut sont développées, quoique restant toujours minces.

Peu de temps après la disparition complète du tubercule, les bourgeons qui se trouvent à l'aisselle des écailles de la tige souterraine commencent à s'allonger : leur direction est d'abord horizontale, leurs entre-nœuds très courts et renflés ont l'aspect d'une série de petites perles blanches au nombre de quatre à six (6, fig. 5) ; ces entre-nœuds ne tardent pas à s'allonger, en se recourbant vers le bas. Les nouveaux entre-nœuds qui se développent à l'extrémité de ce rameau souterrain restent un peu renflés et s'enfoncent de plus en plus verticalement, poussés en quelque sorte par l'allongement des entre-nœuds de la base du rameau ; on voit donc que le rameau souterrain augmente peu à peu de volume. La marche descendante de ce rhizome tuberculeux est très rapide : j'ai constaté qu'elle était en moyenne de 18 millimètres en cinq jours, du 25 mai au 1^{er} juin.

Une plante, enlevée du sol à ce moment, présente un aspect

assez curieux (fig. 6). On voit partir de la tige ascendante initiale une vingtaine de filaments grêles, qui, horizontaux à leur point de départ, se recourbent régulièrement de haut en bas *tg*, tout autour de cette tige *ta* (comme les branches d'un arbre qui retombent vers le sol); à l'extrémité de chacun de ces filaments se trouve un tubercule *t*, dont le volume toujours petit, augmente assez régulièrement avec la profondeur.

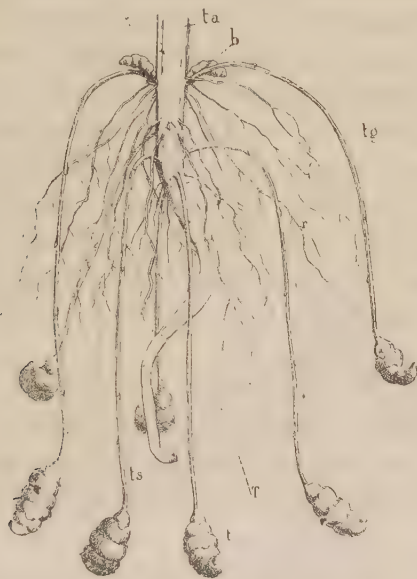


Fig. 6. — Partie souterraine d'un pied de *Stachys tuberifera*, à la fin du printemps : *ta*, tige aérienne ; T, place qu'occupait le tubercule initial de l'année précédente ; *ts*, *tg*, branches souterraines grêles s'enfonçant de haut en bas et terminées par de jeunes tubercules *t* ; *b*, bourgeons souterrains.

La rapidité de la marche descendante des rhizomes tuberculeux diminue bientôt : vers la fin de juin j'ai obtenu, comme moyenne de douze observations, un déplacement de haut en bas de 3 millimètres ; à la fin de juillet je n'ai plus constaté de déplacement : tous les tubercules m'ont paru être arrivés au point le plus bas de leur course ; ils sont alors presque tous inclinés (fig. 6), la plupart à 45° environ ; les entre-nœuds se renflent de plus en plus, sans que les tubercules paraissent s'allonger ; leur volume et leur poids augmentent ainsi peu à peu jusqu'au mois d'octo-

bre, époque où l'augmentation avait complètement cessé dans les individus que j'ai observés.

La destruction du tubercule initial (T, fig. 6) et la formation des nouveaux tubercules ne se font pas toujours dans les conditions que nous venons de décrire : j'ai observé que, dans certains tubercules, les bourgeons latéraux se développaient en formant de nouveaux tubercules, au lieu de donner naissance à une tige grêle ascendante, comme cela a lieu d'ordinaire ; dans ces nouveaux petits tubercules qui se forment directement sur le tubercule initial, viennent se localiser pendant quelques jours les réserves qui étaient contenues dans le tubercule initial ; ce dernier se flétrit alors très rapidement dans la partie postérieure, tandis qu'il est encore ferme et bien renflé dans la partie antérieure située au-dessus du tubercule nouvellement formé ; ce dernier ne tarde pas à se séparer du tubercule sur lequel il s'est développé, et complètement isolé, il donne bientôt naissance, par son bourgeon terminal, à une tige grêle ascendante normale.

La formation de ces tubercules secondaires provenant directement d'un autre tubercule (fig. 7) paraît assez rare quand les conditions extérieures sont favorables ; cette formation se produit au contraire constamment quand on rend défavorables les conditions de développement, comme, par exemple, lorsqu'on fait subir à la température des changements fréquents et considérables, si l'on fait varier le degré d'humidité, en arrosant beaucoup, puis en laissant le sol redevenir très sec, etc.

En exagérant ces mauvaises conditions anormales, le tubercule de *Stachys* présente des phénomènes différents : au lieu de donner naissance à des tiges grêles ou à des tubercules secondaires latéraux, c'est le bourgeon terminal lui-même qui se développe en formant un nouveau tubercule (TN, fig. 8) faisant immédiatement et sans transition suite au premier TA ; le nouveau tubercule TN se recourbe, le bourgeon terminal étant tourné vers le haut. Le diamètre est à peu près le même dans le second tubercule que dans le tubercule initial, qui se résorbe peu à peu ; puis, ce second tubercule se résorbe à son tour pour en former

un troisième à peu près dans les mêmes conditions, de sorte que le tubercule ne fait, en quelque sorte, que se déplacer; il se détruit par la partie postérieure pour se reformer immédiatement à l'état de tubercule à entre-nœuds larges et courts; les écailles sont très charnues ainsi que les bourgeons; quelques-uns de ces derniers se développent aussi quelquefois de la même manière. J'ai observé un même tubercule qui s'est renouvelé jusqu'à trois fois, en remontant verticalement; arrivé alors à la



Fig. 7. — Tubercules de *Stachys tubrifera*, se ramifiant et se développant de bas en haut, par suite de conditions anormales.

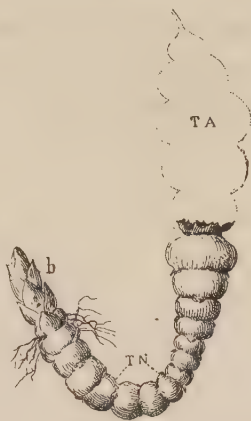


Fig. 8. — Tubercule de *Stachys tubrifera*, qui s'est déplacé et reformé par une culture forcée en hiver : TA, place qu'occupait le tubercule normal; TN, tubercule nouveau anormal; b, bourgeon terminal.

surface du sol, il a donné naissance à une tige feuillée assez chétive.

L'influence des mauvaises conditions extérieures sur les tubercules en voie de formation produit encore un autre effet très curieux, c'est d'arrêter la descente de ces tubercules et de leur faire donner naissance à des tiges ascendantes qui deviendront aériennes.

Pendant que des tubercules placés en terre dans des conditions normales s'enfoncent régulièrement dans le sol, d'autres tubercules absolument semblables aux premiers, mais placés en pot et mal soignés, s'arrêtent, puis donnent une ou plusieurs tiges

ascendantes, quelques-unes grêles, d'autres renflées en tubercules; ces derniers sont coudés comme ceux dont nous avons parlé plus haut.

En général, j'ai observé que, à mesure que les conditions extérieures étaient meilleures, les tubercules placés dans un même sol s'enfonçaient davantage et devenaient plus gros; presque toujours les tubercules qui s'arrêtent près de la surface du sol restent petits.

2° *Anatomie.* — La coupe longitudinale d'un tubercule de *Stachys tuberifera* (fig. 9) montre que le tubercule est formé par le développement de l'écorce (*ec*, fig. 9) et surtout de la moelle *m*;

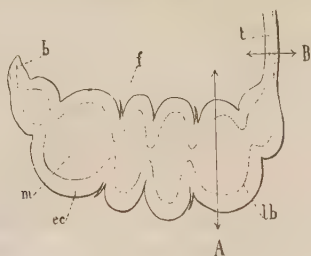


Fig. 9. — Coupe longitudinale d'un tubercule de *Stachys tuberifera* : *t*, tige grêle; *f*, écaille; *b*, bourgeon terminal; *m*, moelle; *lb*, faisceaux libéro-ligneux; *ec*, écorce, B et A, direction des coupes des figures 10 et 11.

cette coupe fait voir la proportion entre les développements de ces différentes parties dans la tige grêle *t* et dans le tubercule; la moelle est très développée aux entre-nœuds et resserrée considérablement aux nœuds.

Si l'on fait en B la coupe transversale de la tige grêle *t*, on voit (fig. 10) qu'à chacun des angles de cette tige quadrangulaire il existe une couche *c* de collenchyme qui protège un faisceau libéro-ligneux *lb*; une écorce assez mince *ec*, ayant une épaisseur de 8 à 10 cellules, terminée à l'extérieur par un épiderme et à l'intérieur par un endoderme bien défini, entoure le cylindre central.

Dans les tissus compris entre les faisceaux libéro-ligneux *lb*, on observe un certain nombre de vaisseaux du bois *v* isolés;

l'ensemble de ces vaisseaux et des faisceaux libéro-ligneux entoure la moelle *m*.

Dans la coupe A d'un entre-nœud renflé du tubercule (fig. 11), on voit en *o* que le collenchyme a disparu; l'écorce *ec* a augmenté: son épaisseur est de plus de 30 cellules; les faisceaux libéro-ligneux *lb* qui se sont étendus tangentielllement ont relativement moins de vaisseaux ligneux que ceux de la coupe B, et ces vaisseaux ont un diamètre sensiblement plus petit; on voit

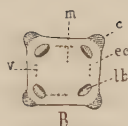


Fig. 10. — Coupe de la partie grêle d'une tige souterraine du *Stachys tubrifera* (en B, fig. 9); *m*, moelle; *lb*, un des principaux libéro-ligneux; *v*, vaisseaux isolés; *ec*, écorce; *c*, collenchyme.

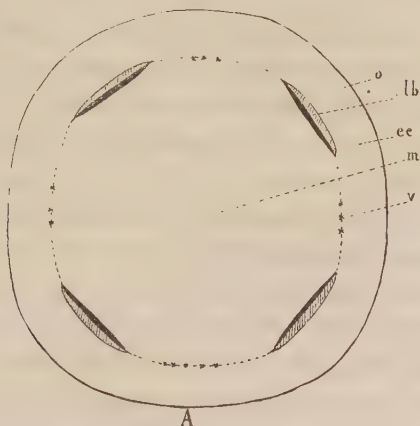


Fig. 11. — Coupe transversale de la partie renflée du tubercule de *Stachys tubrifera* (en A, fig. 9): *m*, moelle; *lb*, un des quatre faisceaux libéro-ligneux principaux; *v*, vaisseaux isolés; *ec*, écorce; *o*, région de l'écorce où manque le collenchyme correspondant à *c* (fig. 10).

aussi quelques vaisseaux du bois isolés *v*. La moelle augmente dans la proportion de 1 à 20.

Si l'on fait des coupes transversales d'un bout à l'autre d'un tubercule, on trouve, à mesure qu'on se rapproche des extrémités, une série de transitions entre la disposition des éléments observée dans la coupe B et celle observée dans la coupe A.

En résumé, le tubercule est donc formé par un développement considérable de la moelle qu'accompagne une augmentation relativement moins grande de l'écorce.

La composition chimique des tubercules de *Stachys tubrifera*

a été publiée par M. A. de Planta dans la *Revue générale de Botanique* (1).

Ce savant chimiste a dosé dans ces tubercules la galactane, hydrate de carbone formant un intermédiaire entre l'amidon et le sucre, découvert en 1888 dans les graines de Lupin; M. de Planta a trouvé la proportion extraordinaire de 75 pour 100 de galactane.

2. *Stachys palustris*. — Le *Stachys palustris* offre avec le *Stachys tuberifera* de nombreux termes de comparaison: le *Stachys palustris* se propage, en effet, au moyen de rhizomes qui, sous bien des rapports, ressemblent à ceux de l'espèce que je viens d'étudier.

Si l'on considère le *Stachys palustris* au point de vue de la morphologie externe, on voit qu'un rhizome initial donne naissance à des bourgeons qui se développent régulièrement à l'aiselle des petites écailles situées aux nœuds; ces ramifications du rhizome, très minces à leur origine, augmentent de diamètre, au point de devenir presque tuberculeuses, tout en restant allongées: c'est la disposition que nous avons décrite dans les tiges ascendantes du Crosnes du Japon. L'accroissement de ces ramifications du rhizome initial se fait horizontalement, et par conséquent dans le sol; l'allongement se continue jusqu'en automne; en hiver, on n'aperçoit pas d'accroissement sensible.

Au printemps, ces ramifications s'accroissent de nouveau; leur extrémité prend une direction franchement ascendante et donne naissance à une tige feuillée. Pendant tout l'hiver, on ne voit pas de racines adventives sur le rhizome; les réserves, accumulées dans les entre-nœuds, et qui les gonflent d'une manière très apparente, suffisent au développement de la plante pendant cette saison. Mais, au printemps, on voit, à chaque nœud, se former huit racines adventives disposées symétriquement quatre par quatre sur chaque face du rhizome dont la section est un

(1) A. de Planta, *Note sur la composition des tubercules de Crosnes du Japon*. (*Revue générale de botanique*, t. I, p. 85, 1889.)

carré : c'est absolument la même disposition que celle observée dans le *Stachys tuberifera*.

Ces ramifications se séparent, au printemps, du rhizome origine et, devenant indépendants, servent à la multiplication de la plante.

On voit donc qu'il y a, au point de vue de la morphologie externe, à faire un grand rapprochement entre la disposition des réserves du *Stachys palustris* et celle du *Stachys tuberifera*; les seules différences que l'on observe consistent en ce que dans le *Stachys palustris* la direction des rhizomes est horizontale et que les entre-nœuds, quoique gorgés de réserves, y sont toujours allongés, tandis que dans le *Stachys tuberifera* les rhizomes à réserves sont normalement verticaux, et que les entre-nœuds du tubercule y sont très renflés et très courts.

La morphologie interne montre aussi une disposition tout à fait analogue à celle du *Stachys tuberifera*, à cela près que, dans la partie étroite, le collenchyme n'est presque pas développé en face des faisceaux principaux; il y a aussi une certaine différence à constater entre la moelle de la partie tubérifiée et celle de la partie mince; les méats sont sensiblement plus nombreux dans la première que dans la seconde; tous les autres tissus du tubercule sont comparables.

On voit donc que, dans nos *Stachys* indigènes, on peut retrouver le même mode de tubérisation externe et interne que dans le Crosnes du Japon.

3. *Oxalis crenata*. — 1° *Morphologie externe*. — Le rhizome d'*Oxalis crenata* émet des rameaux souterrains qui, d'abord horizontaux et grêles, prennent une direction presque verticale et se renflent considérablement à l'extrémité (fig. 12); les entre-nœuds de la tige grêle *t* qui s'enfonce sont très longs; au contraire, ceux de la tige qui forment le tubercule sont très courts. A l'aisselle des écailles triangulaires membraneuses qui représentent les feuilles naissent de gros bourgeons qui, généralement, ne se développent pas.

Au printemps, le tubercule, dont la croissance s'était arrêtée pendant plusieurs mois, donne naissance à son extrémité à une tige ascendante mince (*b*, fig. 12) qui, en arrivant à la surface du sol, va produire une tige feuillée : cette tige est, comme on le voit, la continuation directe du tubercule ; elle se dirige nettement de bas en haut ; il en est de même des tiges, assez rares d'ailleurs, qui proviennent des bourgeons latéraux. C'est donc bien la même tige qui s'est enfoncée dans le sol pendant qu'elle accumulait des substances nutritives, qui s'est arrêtée pendant un



Fig. 12. — Un tubercule d'*Oxalis crenata* se développant au printemps ; *t*, tige grêle dirigée de haut en bas et se terminant par un tubercule ; *b*, bourgeon qui se développe en se recourbant par le haut.

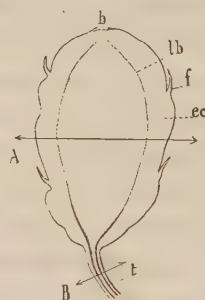


Fig. 13. — Coupe longitudinale d'un tubercule d'*Oxalis crenata*, placé à l'inverse de sa position naturelle ; *t*, tige grêle ; *f*, écaille ; *b*, bourgeon terminal ; *lb*, faisceaux libéro-ligneux entourant la moelle ; *ec*, écorce. B et A, direction des coupes qui représentent 14, 15 et 16.

certain temps, correspondant à la période de la plus grande agglomération des réserves, puis qui est redevenue ascendante pendant la période d'absorption de ces réserves.

Quand la tige grêle ascendante est arrivée à la surface du sol, elle donne à l'aisselle des écailles souterraines des bourgeons qui se développent en rameaux souterrains, se tuberculisent, et ainsi de suite.

2° *Anatomie*. — La coupe de la tige souterraine grêle en B (fig. 13), avant sa tubérisation, présente (B, fig. 13 et B', fig. 16)

la disposition normale des tiges, avec quelques traces de formations secondaires.

L'épiderme est mince, formé d'une rangée de cellules beaucoup plus petites que les cellules sous-jacentes de l'écorce. L'écorce (*ec*, fig. 16) présente une épaisseur d'une vingtaine de cellules de dimensions très différentes les unes des autres; le cylindre central est presque toujours ovale; il renferme à l'intérieur du péricycle à cellules très petites, une dizaine de faisceaux libéro-ligneux (*lb*, fig. 16) dont le bois est lignifié; la moelle *m* a un diamètre à peu près égal à l'épaisseur de l'écorce.

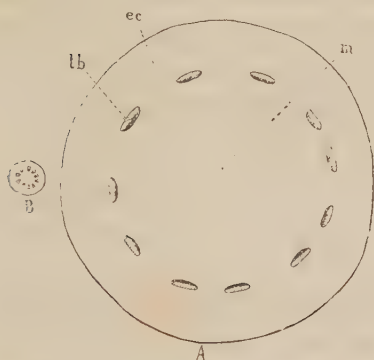


Fig. 14 et 15. — B, coupe de la partie grêle de la tige souterraine d'*Oxalis crenata* (voir B', fig. 16); A, coupe de la partie renflée : *m*, moelle; *lb*, l'un des faisceaux libéro-ligneux; *ec*, écorce.

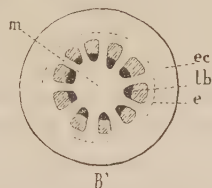


Fig. 16. — Coupe B plus grossie : *m*, moelle; *lb*, l'un des faisceaux libéro-ligneux; *e*, endoderme; *ec*, écorce.

La coupe transversale du tubercule en A (fig. 14) montre un très grand développement de la moelle *m*; le diamètre de la moelle est égal à environ quatre fois l'épaisseur de l'écorce. L'épiderme conserve la même disposition que dans la coupe B; les faisceaux libéro-ligneux (*lb*, fig. 14) s'écartent généralement les uns des autres sans se diviser ni se confondre; l'endoderme devient indistinct et les cellules du péricycle prennent absolument le même aspect que celles de la moelle et de l'écorce; il est impossible de les en distinguer. Les vaisseaux du bois sont sensiblement plus étroits dans le tubercule que dans la tige non tubérifiée; de plus ils ne sont plus lignifiés; le nombre des vais-

seaux du bois diminue; dans certains faisceaux libéro-ligneux on n'en trouve plus qu'un seul.

La coupe longitudinale du tubercule (fig. 13) montre les dispositions que je viens d'indiquer, ainsi que les proportions relatives des parties de la tige tubérifiée.

En résumé, dans l'*Oxalis crenata*, la tubérification est produite par le développement des tissus primaires de l'écorce, du péri-cycle et de la moelle.

Les réserves accumulées dans le tubercule s'y trouvent sous forme d'amidon, de glucoses et d'une quantité relativement faible de saccharoses. J'ai trouvé les saccharoses en quantité relativement plus grande dans le tubercule à l'état de vie ralentie que dans le tubercule à l'état de vie manifestée, soit au moment de sa formation, soit au moment de sa destruction.

4. *Begonia*. — La morphologie des Bégonias tubéreux vient d'être faite par M. Henry Duchartre, qui a suivi le développement de leur tubercule (1).

D'abord piriforme, ce tubercule devient plus ou moins régulièrement sphérique, puis se transforme progressivement en un disque épais, concave en haut, convexe en bas.

Comme dans les tubercules précédents, c'est presque uniquement dans la moelle et dans l'écorce que les réserves s'accumulent; les faisceaux libéro-ligneux, peu développés et presque sans formations secondaires, sont disposés suivant une circonférence.

Les réserves accumulées dans le tubercule y sont sous la forme d'amidon et de sucres.

5. *Cyclamen europæum*. — La morphologie externe du *Cyclamen europæum* est presque la même que celle des Bégonias tubéreux; la formation et le développement des tubercules sont presque identiques dans ces deux genres.

Les tubercules sont aussi formés par la tige, et le premier

(1) Henry Duchartre, *Observations sur le sous-genre Lemoinea (Bégonias tubéreux proprement dits)*, Paris, 1889.

renflement est constitué presque exclusivement par l'axe hypocotylé qui forme une petite boule (fig. 17) au-dessus de laquelle se forment les premières feuilles.

Je vais décrire rapidement la structure assez particulière de ce



Fig. 17. — Jeune plante de *Cyclamen europæum*, issue de germination : f, première feuille; r, racine principale. — A, B, C, direction des coupes à travers le tubercule.

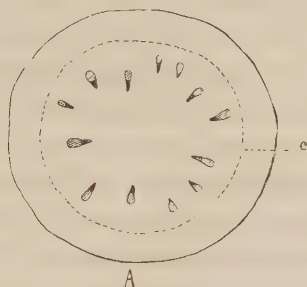


Fig. 18. — Coupe transversale vers la base du jeune tubercule de *Cyclamen europæum* (en A, fig. 17) : e, endoderme, séparant l'écorce du cylindre central qui est relativement très développé et à nombreux faisceaux libéro-ligneux.

tubercule. Une coupe en long fait voir que l'écorce est plus développée dans la partie supérieure du tubercule que dans la partie

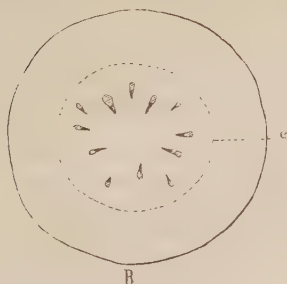


Fig. 19. — Coupe transversale vers le milieu du jeune tubercule de *Cyclamen europæum* (en B, fig. 17) : e, endoderme.

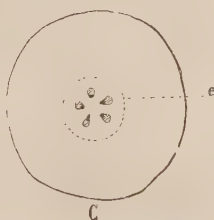


Fig. 20. — Coupe transversale vers le sommet du jeune tubercule de *Cyclamen europæum* (en C, fig. 17) : e, endoderme, séparant l'écorce très développée du cylindre central à cinq faisceaux libéro-ligneux.

inférieure : le cylindre central, très étroit dans la racine principale, s'élargit brusquement à la base du tubercule et devient ensuite peu à peu de plus en plus étroit.

C'est ce que montre la comparaison des coupes A, B, C.

La coupe A, faite au-dessus de la base du tubercule (fig. 18), fait voir le cylindre central très développé, les faisceaux libéro-ligneux inégaux et assez irrégulièrement disposés; la moelle y est considérable.

La coupe B, pratiquée vers le milieu du tubercule (fig. 19), montre le cylindre plus petit et la moelle relativement réduite; les faisceaux y sont encore assez irrégulièrement disposés.

Enfin la coupe C, faite non loin du sommet (fig. 20), montre un cylindre central très réduit, ayant habituellement cinq faisceaux libéro-ligneux disposés sur une seule circonférence; la moelle est presque nulle, l'endoderme est toujours très net, et les formations secondaires des faisceaux existent à peine.

On voit donc que chez ce tubercule de *Cyclamen* les réserves sont accumulées : à la base, surtout dans la moelle, et, au sommet, surtout dans l'écorce.

6. *Polygonum viviparum*. — 1° Morphologie externe. — Le *Polygonum viviparum* (fig. 21) est une espèce alpine qui se perpétue par son rhizome : ce rhizome est tubérifié et renflé en



Fig. 21. — *Polygonum viviparum* : a, base de la tige aérienne; s, tige souterraine; b, bourgeon qui donnera l'article suivant de la tige souterraine.



Fig. 22. — Coupe transversale de la tige souterraine du *Polygonum viviparum*; s, faisceaux libéro-ligneux supérieurs; i, faisceaux libéro-ligneux inférieurs.

articles successifs comme celui du *Polygonatum vulgare*; il se développe toujours du même côté et horizontalement; son avant-dernier article donne la tige de l'année, recourbé en arrière à la base; le dernier article se termine par un bourgeon qui produira la tige aérienne de l'année suivante.

Ce rhizome est presque superficiel, il est recouvert d'un grand nombre de fines racines adventives qui l'entourent comme d'un feutrage; il peut se produire des ramifications latérales moins nombreuses et moins allongées que celles du *Polygonatum Bistorta*.

2° *Anatomie*. — Une coupe transversale de ce rhizome (fig. 22) fait voir dans cette tige une structure nettement bilatérale et symétrique par rapport à un seul plan.

Les faisceaux libéro-ligneux, à formations secondaires très peu développées, sont, dans les tubercules de dimension moyenne, au nombre d'une vingtaine environ; ils sont disposés sur une seule ligne fermée. En général, les faisceaux inférieurs *i* sont beaucoup plus grands que les faisceaux supérieurs, *s*.

C'est dans l'écorce et surtout dans la moelle, constituées par un parenchyme irrégulièrement lacuneux, que sont accumulées les réserves nutritives; celles-ci se composent d'amidon et de sucres (glucoses et saccharoses) en quantité à peu près égales.

7. *Menyanthes trifoliata*. — Dans cette plante, le rhizome renflé forme un sympode se terminant chaque année par une tige aérienne fleurie; un bourgeon latéral souterrain continue le rhizome.

La structure du rhizome du *Menyanthes trifoliata* (Pl. 20, fig. 3) est très singulière; elle rappelle au premier abord la structure classique qu'on observe chez certaines Monocotylédones aquatiques telles que l'*Acorus calamus*.

Le cylindre central est peu considérable et renferme des faisceaux entourés d'un parenchyme sclérifié qui ressemblent absolument à ceux des Monocotylédones. L'écorce, qui est très développée, et la moelle sont formées d'un curieux réseau de cellules en chapelet, laissant entre elles des lacunes aérifères qui communiquent toutes les unes avec les autres. On retrouve d'ailleurs une structure analogue dans la racine (Pl. 19, fig. 2) où la moelle est réduite, et où l'endoderme présente des cellules

épaissies en fer à cheval, comme on l'observe dans l'*Acorus calamus*. On n'observe de formations secondaires développées, ni dans le rhizome ni dans la racine.

C'est donc surtout dans les cellules en chapelet de l'écorce et de la moelle que s'accumulent les réserves nutritives.

2° — *Monocotylédones*.

On vient de voir quelle est la structure d'un certain nombre de tubercules de Dicotylédones où les formations secondaires de la tige sont à peine indiquées. Je vais maintenant décrire plusieurs tubercules caulinaires de Monocotylédones chez lesquels il n'y a, comme on sait, aucune formation secondaire intralibérienne et où les formations secondaires péricycliques sont peu développées, ou même ne le sont pas du tout.

8. *Cyperus esculentus*. — 1° *Morphologie externe*. — Le *Cyperus esculentus* se propage et se multiplie à l'aide de tubercules constitués par un certain nombre d'entre-nœuds de la tige rapprochés.

Le tubercule a une forme ovoïde; il est légèrement renflé à sa partie terminale où se trouve un bourgeon; sa surface est rugueuse; de nombreuses racines adventives très minces émergent de cette surface.

Le tubercule (*tb*, fig. 24) est rattaché à la plante mère par un rhizome mince (*ts*, fig. 24) et à longs entre-nœuds; on le trouve ordinairement dans une situation verticale, le bourgeon en bas; mais on voit, en coupant le tubercule par le milieu dans le sens de la longueur, que le bourgeon est en réalité horizontal (fig. 23). C'est dans cette situation que le tubercule passe l'hiver à l'état de vie ralentie. La direction des nombreuses racines (*r, r*, fig. 23) issues de l'intérieur du tubercule, et qui s'allongent verticalement, montre bien quelle est la position du tubercule par rapport à la surface du sol.

Dans la culture, où cette plante est connue sous le nom de

Souchet, on ne laisse pas en terre les tubercules pendant la mauvaise saison ; on les retire du sol, car, dans nos climats, ils ne s'y conserveraient pas ; on les garde dans un endroit sec, où ils deviennent très durs et où ils se rident ; c'est sous cette forme qu'ils sont livrés au commerce, soit pour servir à l'alimentation, soit pour être plantés dans le courant du mois de mai.

Le tubercule mis dans le sol à cette époque se renfle rapidement et le bourgeon terminal se développe en donnant naissance

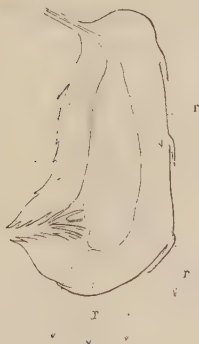


Fig. 23. — Coupe longitudinale d'un tubercule de *Cyperus esculentus*, montrant la direction des racines *r, r, r*, issues du réseau radicifère.

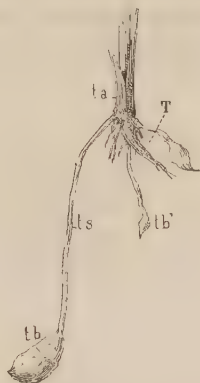


Fig. 24. — Développement, à la fin du printemps, de tubercules de *Cyperus esculentus* : *T*, tige issue du tubercule initial se continuant par la tige aérienne ; *ta, ts*, une des branches souterraines se dirigeant de haut en bas et se terminant par un jeune tubercule ; *tb, tb'*, tubercule plus jeune.

aux feuilles disposées trois par trois, comme cela a lieu pour les autres Cypéracées ; une tige mince se dirige franchement de bas en haut. Quand cette tige est arrivée tout près de la surface du sol, elle se renfle un peu, et de cette partie renflée on voit partir un certain nombre de bourgeons latéraux qui donnent naissance à des rhizomes : un certain nombre de ces rhizomes s'enfoncent très peu et vont, à quelques centimètres de leur point de départ, se relever, apparaître à la surface du sol pour donner une tige aérienne florifère ; les autres rhizomes, au contraire, s'enfoncent presque verticalement et s'allongent rapidement

grâce à l'accroissement des entre-nœuds ; quand l'extrémité de la tige souterraine est ainsi arrivée à une certaine profondeur, le mouvement de descente se ralentit beaucoup, puis il cesse presque complètement et le tubercule s'épaissit à la place où il s'est arrêté (*tb*, fig. 24).

Le tubercule initial qui a donné naissance à ces formations se détruit en quelques jours, et l'on peut même ordinairement observer une période où la plante vit sans localisation des réserves, après l'épuisement du tubercule initial et avant la formation des nouveaux tubercules.

J'ai pu vérifier dans de nombreuses expériences que si la

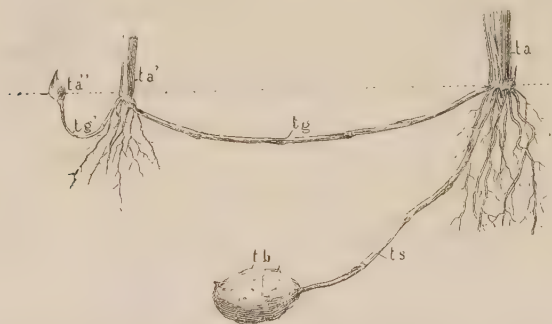


Fig. 25. — Partie souterraine d'une culture de *Cyperus esculentus* dans des conditions normales : *ta*, tige aérienne initiale ; *ts*, branche souterraine se terminant par un tubercule *tb*, placé horizontalement ; *tg*, autre branche souterraine donnant directement une tige aérienne *ta'*, qui elle-même donne une tige souterraine *tg'*, se terminant par une tige aérienne *ta''*.

plante végète dans de mauvaises conditions d'humidité et de température, les tubercules s'enfoncent très peu (fig. 25), qu'ils prennent une disposition horizontale *tb*, ou même se redressent de bas en haut, en sens inverse de ce qui se passe normalement. J'ai même constaté que, dans ces mauvaises conditions, des rhizomes verticaux terminés par un tubercule qui dans les conditions ordinaires se serait enfoncé dans le sol et ne se serait développé que l'année suivante, se retournent et viennent porter à la surface du sol le tubercule, généralement peu développé, qui va donner une tige feuillée.

Si donc la plante végète dans des conditions normales, il se forme deux sortes de rhizomes, les uns horizontaux, les autres ver-

taux. Si la plante est rendue malade, les rhizomes horizontaux ne paraissent pas subir de changements, mais les rhizomes verticaux se redressent et vont la même année former une tige feuillée. La figure 25 montre un petit tubercule, qui va ainsi donner naissance à une tige aérienne *ta''*, quoique provenant d'un rhizome qui était d'abord descendant; dans les conditions ordinaires, ce petit tubercule se serait développé sous terre et seulement l'année suivante.

2° Anatomie. — *a. Description de la coupe longitudinale du tubercule* (fig. 27). — Considérons une coupe longitudinale

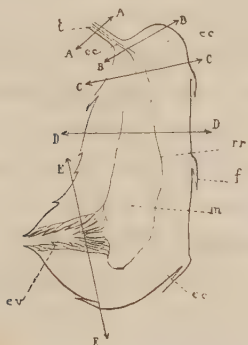


Fig. 26. — Coupe longitudinale d'un tubercule de *Cyperus esculentus*; *t*, partie grêle de la tige souterraine; *f*, écaille; *ev*, espace vide au-dessus des bourgeons; *m*, moelle; *rr*, réseau radicifère; *cc*, cylindre central dans sa partie étroite; *ec*, écorce. — AA, BB, CC, DD, EE, directions des coupes.

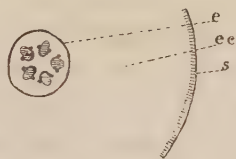


Fig. 27. — Portion de la coupe de la tige souterraine grêle de *Cyperus esculentus* (en A, fig. 26): *s*, sclérenchyme hypodermique; *ec*, écorce; *e*, endoderme entourant le cylindre central.

axiale du tubercule, passant par le milieu du bourgeon et par le rhizome qui le porte (fig. 26). On voit dans le rhizome le cylindre central *ec, rr, m* entouré d'une écorce *ec, ec*, ayant une épaisseur inégale dans les diverses régions du tubercule. Si l'on suit la coupe de *t* en *ev*, en faisant abstraction des nombreuses racines dont j'ai parlé plus haut (fig. 23), on voit qu'à 3 ou 4 millimètres de la base du tubercule, l'épaisseur de l'écorce devient égale à environ sept ou huit fois le diamètre du cylindre central

(en BB, fig. 26) sans que celui-ci soit notablement différent du cylindre central du rhizome grêle *t*. Ce cylindre central ne présente d'autre changement que celui de la nature des parois de ses cellules et de ses vaisseaux : ces parois diminuent sensiblement d'épaisseur. Un peu plus loin de la base du tubercule, à 5 millimètres environ, on voit le cylindre central s'élargir (CC, fig. 26) et la moelle devenir de plus en plus considérable : l'endoderme devient méconnaissable et est remplacé par un réseau radicifère (*r, r*, fig. 26).

Plus loin, en DD, l'épaisseur de l'écorce est à peu près égale au diamètre de la moelle. Enfin on aperçoit, autour de la cavité *ev* des bourgeons, la région morphologiquement terminale du tubercule, région qui est tournée latéralement.

b. Description de la coupe du rhizome qui porte le tubercule (en AA, fig. 26 et fig. 27). — L'épiderme est formé par une assise de cellules plus petites que les cellules sous-jacentes, l'écorce (*ec*, fig. 27) présente une épaisseur de 25 à 30 cellules à parois minces, les trois ou quatre dernières assises de l'écorce ont des cellules disposées radialement et en continuité à peu près complète avec celles de l'endoderme ; les cellules situées le plus près de l'endoderme ont des parois un peu épaissies ; l'endoderme *e* est lignifié presque complètement sur toutes ses faces ; il établit une séparation très nette entre l'écorce et le cylindre central ; le péricycle se distingue bien par ses cellules plus petites et non lignifiées. On voit dans cette coupe (fig. 27) cinq faisceaux libéro-ligneux ; chacun de ces faisceaux est formé par un certain nombre de vaisseaux du bois non lignifiés dont l'ensemble présente la forme d'un U ; à l'extrémité de chacune des branches de cet U, on observe un vaisseau du bois beaucoup plus large que les autres ; le liber, plus développé que le bois, est logé entre les branches de l'U qu'il dépasse beaucoup. La moelle est formée de cellules épaisses : son diamètre est à peu près égal à la plus grande largeur d'un faisceau libéro-ligneux ; cinq rayons médullaires très nets séparent, les uns des autres, les faisceaux libéro-ligneux : ces rayons sont constitués par des cellules analogues à celles de la moelle. Cette structure est généralement troublée par

un grand nombre de racines qui sont en voie de formation dans le péricycle.

c. Description de la coupe de la base du tubercule (en BB, fig. 26 et fig. 28). — L'épiderme est remplacé par un tissu hypodermique lignifié formant un sclérenchyme (*s*, fig. 28) à parois épaisses, dont la plus grande longueur est disposée radialement de telle sorte qu'une coupe tangentielle présente l'aspect d'un tissu fibreux : ce tissu à parois épaisses passe par une série de transitions successives au tissu de l'écorce (*ec*, fig. 28) qui n'est pas lignifié et est formé de grandes cellules polyédriques à parois minces renfermant des réserves abondantes ; c'est, en effet, dans ce tissu que se trouvent accumulées presque toutes les réserves du tubercule. A mesure que l'on considère les cellules situées plus près du cylindre central, on observe qu'elles présentent une



Fig. 28. — Portion de la coupe du tubercule de *Cyperus esculentus* (en BB, fig. 26) ; *s*, sclérenchyme hypodermique ; *ec*, écorce ; *e*, endoderme entourant le cylindre central ; *m*, moelle.

disposition radiale de plus en plus accentuée ; en même temps les cellules deviennent plus petites à mesure qu'elles sont plus rapprochées de l'endoderme ; cet endoderme (*e*, fig. 28) est très net, il n'est pas lignifié, les cellules qui le constituent sont plus épaisses sur les faces internes et latérales que sur les faces externes (*A*, fig. 29), tandis que les cellules de l'endoderme du rhizome étaient épaissies sur toutes leurs faces (*B*, fig. 29). Les cellules du péricycle sont relativement plus grandes que celles du péricycle de la tige souterraine non tubérifiée : un certain nombre de ces cellules ont même une dimension égale à celle des cellules de l'endoderme ; on aperçoit de loin en loin quelques fibres péricycliques, tandis que dans la coupe précédente ces fibres étaient à peine indiquées. Les cinq faisceaux libéro-ligneux présentent leur bois en forme d'U beaucoup plus ouvert ; les vaisseaux de ce bois ont des parois plus épaisses, leur diamètre est beaucoup moins va-

riable que dans les vaisseaux de la coupe précédente ; on aperçoit toujours très nettement deux gros vaisseaux du bois, non lignifiés, aux extrémités de la branche de l'U. Le liber est relativement moins considérable, ses parois sont aussi plus épaisses ; la moelle et les rayons médullaires n'offrent pas d'autre différence appréciable avec ceux de la coupe précédente qu'une épaisseur de parois un peu plus grande.

D'une manière générale, tous les tissus du cylindre central présentent, dans cette partie du tubercule, des parois plus épaisses

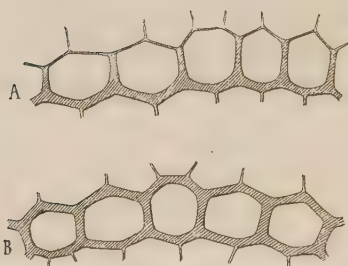


Fig. 29 et 30. — B, coupe transversale de l'endoderme correspondant à *e*, fig. 27 ; A, coupe transversale de l'endoderme correspondant à *e*, fig. 28.

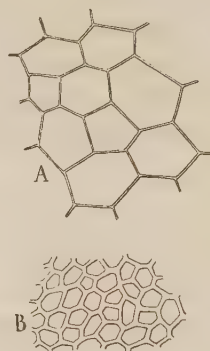


Fig. 31 et 32. — B, fragment de la moelle, correspondant au milieu du cylindre central de la coupe de la figure 27 ; A, fragment de la moelle correspondant à la coupe de la figure 28.

et les différents éléments de ces tissus sont [moins différenciés entre eux.

En somme, on voit qu'à la base du tubercule toutes les réserves sont renfermées dans l'écorce, et que le cylindre central ne participe pas à la localisation des réserves.

d. Description de la coupe de la partie inférieure du tubercule (en CC, fig. 26). — A mesure que l'on fait des coupes plus rapprochées du milieu du tubercule, on voit le cylindre central augmenter de diamètre : il s'évase en forme de coupe (voy. fig. 26), la moelle augmente, les parois de ses cellules s'amincissent et, peu à peu, on les voit se remplir de réserves identiques à celles de l'écorce ; on peut se rendre compte de cette

différence en comparant la figure 31 (A) à la figure 32 (B). La figure B représente les parois des cellules de la moelle de la coupe BB tout à fait à la base du tubercule; la figure A représente les parois des cellules de la moelle des coupes CC ou DD, c'est-à-dire au milieu du tubercule. Les cinq faisceaux libéro-ligneux s'écartent un peu les uns des autres, le bois est toujours non lignifié, et les éléments en sont de moins en moins différenciés, le liber est peu développé; l'endoderme lui-même n'est plus net, il devient même à peine reconnaissable aux

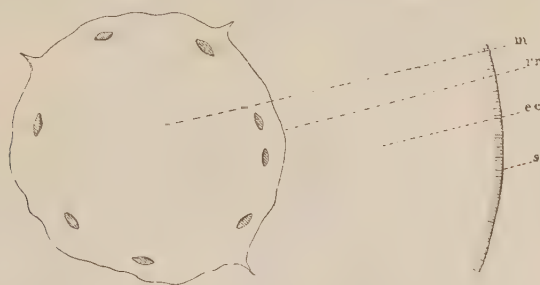


Fig. 33. — Coupe du tubercule de *Cyperus esculentus* (en DD, fig. 26); s, sclérenchyme hypodermique; ec, écorce; rr, réseau radicifère; m, moelle.

points où il est formé de cellules aussi minces que celles de la moelle et de l'écorce.

On voit donc que les parois des cellules de l'endoderme (B, fig. 29) se sont amincies de plus en plus, en commençant par les parois extérieures (A, fig. 29), puis en continuant par les parois latérales, et presque en même temps par les parois intérieures; enfin, à mesure que le péricycle devient de moins en moins net, il se développe au milieu de ses cellules un réseau radicifère constitué surtout par des faisceaux libéro-ligneux; ces faisceaux mettent en relation les faisceaux du cylindre central avec la partie vasculaire des racines.

e. Description de la coupe du milieu du tubercule (DD, fig. 26 et fig. 33). — Cette coupe montre que vers le milieu du tubercule le diamètre du cylindre central est devenu à peu près égal à l'épaisseur de l'écorce (ec, fig. 33); il n'y a plus trace

d'endoderme, et le réseau radicifère développé (*rr*, fig. 33) donne naissance à de nombreuses racines adventives.

Les faisceaux libéro-ligneux, plus nombreux et moins différenciés, sont toujours disposés sur un seul cercle à la périphérie du cylindre central; à ce niveau, les réserves sont accumulées dans tous les tissus, sauf dans le sclérenchyme hypodermique *s*, dans le réseau radicifère *rr* et dans les faisceaux.

f. Description de la coupe passant perpendiculairement à l'axe de la cavité du tubercule (*EE*, fig. 26, et fig. 34). — Si l'on fait une coupe perpendiculairement à l'axe de la cavité *ev* (fig. 26),

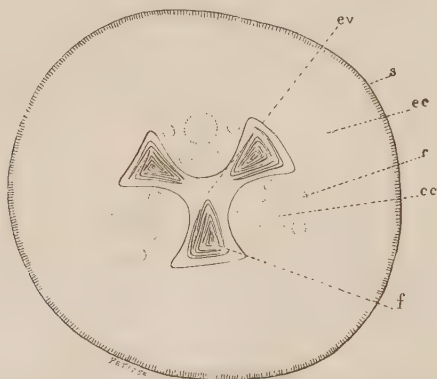


Fig. 34. — Coupe du tubercule de *Cyperus esculentus*; *s*, sclérenchyme hypodermique; *ec*, écorce; *cc*, cylindre central d'un bourgeon; *r*, cylindre central d'une racine née sur un bourgeon; *f*, feuilles d'un bourgeon situé plus bas; *ev*, espèce vide.

on rencontre, à la fois, au moins deux séries de bourgeons disposés trois par trois, tels que les bourgeons *cc* (fig. 34), qui sont coupés vers leur base, et les bourgeons *f* (fig. 34) qui sont coupés vers leur sommet. Dans ces bourgeons, on peut remarquer le cylindre central *cc* et un certain nombre de racines adventives *r* déjà développées; le tout est entouré par l'expansion (*ec*, fig. 34) de l'écorce du tubercule.

On voit en somme que le tubercule du *Cyperus esculentus*, formé par le renflement d'un grand nombre d'entre-nœuds inégaux d'une portion de la tige recourbée sur elle-même, offre une structure très complexe, et que la provision de nourriture

s'y accumule d'une manière générale dans l'écorce et dans la moelle, relativement très amplifiées, toutes deux constituées par un parenchyme de cellules à parois minces.

Ces réserves sont presque exclusivement constituées par des saccharoses et de l'amidon ; les glucoses sont en très petite quantité. Quand le tubercule se détruit, les glucoses augmentent sensiblement et la proportion des saccharoses devient de plus en plus faible.

9. *Veratrum album*. — 1° Morphologie extérieure. — Le *Vera-*



Fig. 35. — Parties souterraines du *Veratrum album* : 1, 2, 3, 4, renflements successifs du rhizome ; le renflement 3 se termine par la tige aérienne ; 4, bourgeon qui donnera le renflement souterrain et la tige aérienne de l'année prochaine ; r, racines.



Fig. 36. — Coupe longitudinale des parties souterraines du *Veratrum album* : 1, 2, 3, 4, renflements successifs ; m, tissus morts des renflements 2 et 1.

trum album est une Colchicacée alpine dont les feuilles se développent en même temps que les fleurs.

Lorsque cette plante est fleurie, son rhizome présente habituellement une longueur de 6 à 10 centimètres, et sa direction générale est inclinée de 25 à 45 degrés par rapport à la surface du sol. Ce rhizome (fig. 35) se compose en général de trois ren-

flements (1, 2, 3, fig. 35) séparés les uns des autres par des étranglements plus ou moins profonds. On observe en outre un quatrième renflement plus petit (4, fig. 35).

On reconnaît facilement, sur chacune de ces masses, la cicatrice des tiges aériennes des années précédentes. Sur le renflement le plus élevé se trouve la tige feuillée de l'année actuelle; puis au-delà et au-dessous de l'insertion de cette tige feuillée, on voit, à la fin de la saison, un bourgeon bien développé ayant environ 3 à 4 centimètres (4, fig. 35 et 36). Ce bourgeon s'est développé à l'aisselle de l'une des feuilles engainantes du renflement le plus élevé du rhizome, et du même côté que le bourgeon qui a donné la tige feuillée actuelle.

A la base de ce jeune bourgeon, on peut même, à l'automne, apercevoir un léger renflement, première ébauche du bourgeon qui donnera dans deux ans une tige feuillée nouvelle.

Le renflement du rhizome qui se termine par la tige feuillée actuelle est formé entièrement de tissus vivants gorgés de réserves et porte des racines adventives très charnues (*r*, fig. 35) qui traversent les feuilles engainantes. C'est donc dans ces racines et surtout dans l'article le plus élevé du rhizome que sont accumulées les réserves devant servir l'année suivante au premier développement du bourgeon 4.

Le second renflement du rhizome ne renferme de tissus vivants que dans sa partie moyenne; tout l'extérieur (*m*, fig. 36) est mort ou en voie de décomposition, ainsi que les racines. Enfin, le troisième et le plus ancien des trois articles du rhizome ne renferme que des tissus morts; l'on n'y trouve plus trace des feuilles.

La plante se propage chaque année en enfonçant son rhizome de telle façon que le renflement actuel viendra l'année prochaine au niveau qu'occupe cette année le renflement précédent, et ainsi de suite, l'inclinaison du rhizome par rapport au sol restant sensiblement la même. Il est alors facile de se rendre compte du déplacement de la plante: elle avance, chaque année, et du même côté, d'une longueur égale à la moitié de la longueur d'un article du rhizome.

2° *Anatomie*. — Une coupe transversale de l'article supérieur du rhizome de *Veratrum* fait voir un cylindre central dont la moelle *m* (fig. 37) est entourée de nombreux faisceaux libéro-ligneux et limitée par un réseau radicifère *rr* qui est en relation avec les racines adventives. En dehors de ce réseau fortement lignifié, se trouve une écorce très développée *ec* (fig. 37), protégée contre les agents extérieurs, non par un liège, mais par

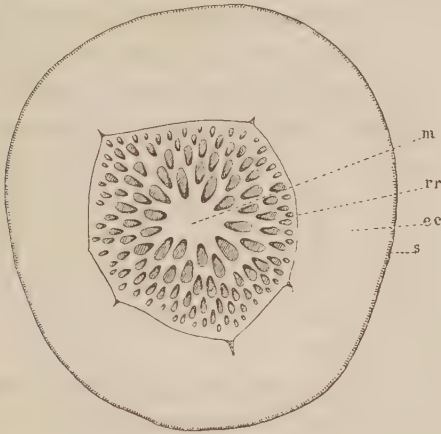


Fig. 37. — Coupe transversale du rhizome du *Veratrum album* (correspondant à 1, fig. 35); *s*, sclérenchyme hypodermique; *ec*, écorce; *rr*, réseau radicifère entourant de nombreux faisceaux libéro-ligneux; *m*, moelle.

une zone de sclérenchyme (*s*, fig. 37) à fibres épaisses et très lignifiées.

C'est dans tout le parenchyme, et surtout dans celui de l'écorce, que sont accumulées les réserves nutritives (amidon et sucres). Dans les racines charnues, ces substances se trouvent presque exclusivement dans l'écorce.

Les racines adventives de l'article du rhizome qui correspond à la tige feuillée de l'an dernier sont presque détruites ou réduites à leur cylindre central. Ces racines en décomposition, ainsi que la partie périphérique du renflement 2, sont attaquées par le *Bacillus Amylobacter*, que j'y ai trouvé en très grande quantité.

10. *Convallaria maialis*. — Dans le Muguet, on sait que la propagation et la multiplication se font au moyen de rhizomes étroits et allongés; les réserves s'accumulent surtout dans la partie renflée qui se trouve à la base des futures tiges aériennes.

Si l'on compare une coupe faite au travers de cette partie renflée avec une coupe faite dans la partie mince du rhizome, on voit que les réserves sont accumulées dans l'écorce et dans le tissu conjonctif du cylindre central; les faisceaux libéro-ligneux qui étaient presque disposés sur un seul cercle dans la partie étroite du rhizome sont, au contraire, plus nombreux et disposés sur plusieurs cercles dans la partie renflée : la lignification du bois est bien moindre dans ces faisceaux que dans ceux de la partie mince.

11. *Polygonatum vulgare*. — Le développement de la tige souterraine du Sceau-de-Salomon est bien trop connu pour qu'il soit utile de le résumer ici.

Si l'on fait une coupe au travers de la partie épaisse de ce rhizome, on remarque que les réserves se font à la fois dans l'écorce et dans le cylindre central, dans tout le parenchyme qui sépare les uns des autres les faisceaux libéro-ligneux; ces derniers sont moins lignifiés et entourés d'un parenchyme beaucoup moins développé que ceux de la tige aérienne.

12. *Iris germanica*. — On sait que dans l'*Iris germanica* les rhizome, sentièrement renflés et rameux, servent à multiplier et à perpétuer la plante; ils renferment d'abondantes provisions de réserves dans toute leur étendue.

Je rappellerai seulement en quelques mots la structure bien connue de cette tige souterraine; le cylindre central renferme de nombreux faisceaux, et les réserves s'accumulent dans le parenchyme qui les sépare les uns des autres, ainsi que dans la moelle. Autour du cylindre central, on voit une écorce nettement indiquée, presque entièrement parenchymateuse et qui ren-

ferme aussi des réserves ; cette écorce est protégée par un liège très développé.

Si l'on étudie la distribution des substances de réserve dans un rhizome d'Iris à l'état de vie ralentie, on trouve la disposition suivante pour l'amidon, les saccharoses et les glucoses : les cellules de la moelle sont gorgées de très gros grains d'amidon ; il y a aussi un assez grand nombre de grains d'amidon dans les cellules du parenchyme qui se trouve entre les faisceaux ; l'amidon est au contraire moins abondant dans l'écorce où on ne le trouve qu'en grains sensiblement plus petits.

Un certain nombre d'analyses des liquides renfermés dans la plante et obtenus par compression, analyses faites au moyen de la liqueur de Fehling, avec interversion et sans interversion par l'acide sulfurique, ainsi que le traitement direct des coupes par le même réactif, ont fait voir que les saccharoses sont très abondants et presque également distribués dans les cellules parenchymateuses ; les glucoses semblent au contraire peu abondants et m'ont paru localisés surtout dans les régions qui entourent les faisceaux et dans le voisinage de l'assise génératrice du liège.

13. *Avena elatior*, var. *bulbosa* (*Avena bulbosa* Willd.). — Cette variété d'*Avena elatior* s'observe surtout dans les champs cultivés, où les chapelets de tubercules formés par les entre-nœuds renflés des tiges souterraines sont redoutés des cultivateurs. Tandis que la variété des prairies accumule ses réserves dans des rhizomes allongés, la variété *bulbosa* les renferme dans des tubercules ovoïdes représentés par la figure 38 ; ces tubercules peuvent passer l'hiver à l'état de vie ralentie et subir une forte dessiccation sans périr. Royer a observé de nombreux intermédiaires entre le type à rhizome allongé non tubérifié et la variété *bulbosa* : ces intermédiaires étaient donnés, soit par des tiges à tubercules ovoïdes (1), soit, comme j'ai eu l'occasion de le vérifier, par des tiges présentant une alternance d'entre-nœuds

(1) Royer : *Flore de la Côte-d'Or*, p. 579.

globuleux avec des entre-nœuds cylindriques et allongés.

Tandis que l'écorce jouait un rôle plus ou moins important dans la tubérification des tubercules précédents, le développement de cette partie de la tige est presque nul dans l'*Avena elatior* : une coupe transversale faite au milieu d'un entre-nœud renflé montre une tige pleine, presque uniquement constituée par le développement du cylindre central : au milieu, on voit la moelle, puis des faisceaux de plus en plus nombreux, séparés par un parenchyme à parois minces (fig. 39 bis); c'est seulement



Fig. 38. — Renflements souterrains de l'*Avena elatior*.



Fig. 39. — Coupe longitudinale des renflements souterrains; *f*, feuille; *lb*, faisceaux libéro-ligneux; *m*, moelle; *r*, racines.

près de la surface que ce parenchyme devient scléreux; aux entre-nœuds, les faisceaux s'entre-croisent et vont se rendre dans la gaine déchirée des feuilles souterraines. *

On voit que la structure de cette partie renflée de l'*Avena elatior* est très analogue à celle de la tige aérienne : les différences de structure de ces deux régions de la tige consistent seulement en ce que, dans la tige renflée, la moelle, au lieu de se résorber, persiste et se gorge d'amidon, et en ce que la partie lignifiée et silicifiée du cylindre central y est relativement moindre par rapport au parenchyme à parois minces.

La figure 39, qui représente le schéma d'une coupe longitudinale de la tige renflée, montre comment les faisceaux, écartés les uns des autres dans la partie tubérifiée, se rapprochent et s'entre-croisent aux nœuds. La figure 4 (pl. 20) montre une

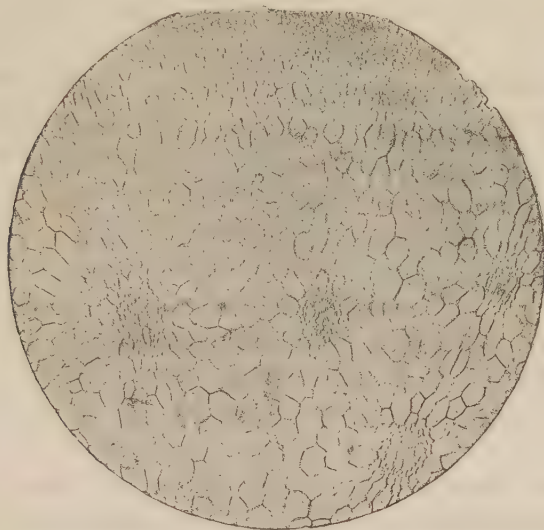


Fig. 39 bis. — Fragment d'une coupe transversale de la partie tubérifiée d'*Avena elatior*.

coupe transversale faite à l'un des nœuds; on y distingue les faisceaux libéro-ligneux dont beaucoup se recourbent et sont, par suite, coupés obliquement.

14. *Dioscorea Batatas*. — Le tubercule de *Dioscorea Batatas* est constitué par un rhizome en forme de massue allongée qui s'enfonce dans le sol presque verticalement jusqu'à une profondeur qui peut dépasser un mètre; la largeur du tubercule atteint souvent trois centimètres: sur ces rhizomes se forment des bourgeons charnus (bulbilles), qui peuvent se détacher du rhizome, pour reproduire et perpétuer le végétal.

Une coupe transversale du tubercule montre que la tubérisation est ici uniquement formée par le cylindre central, dont les faisceaux sont extrêmement réduits et peu lignifiés; le

cylindre central est protégé extérieurement par un liège.

Les réserves sous forme d'amidon sont très abondantes ; il y a aussi une quantité considérable de glucoses, et une quantité relativement beaucoup moindre de saccharoses.

15. *Smilax aspera*. — La tige souterraine du *Smilax* présente des renflements considérables dans la ramification de ses parties souterraines : en certains points les rameaux sont extrêmement nombreux, et la partie renflée peut avoir jusqu'à 5 centimètres de diamètre ; c'est dans ces épaisissements que s'accumulent d'abondantes provisions de nourriture qui se localisent dans le parenchyme séparant les faisceaux libéro-ligneux ; il n'y a pas de liège, mais le tubercule est protégé par une épaisse couche de fibres épaisses, d'un jaune brun.

16. *Crocus vernus*. — Le bulbe de *Crocus* est formé par un renflement considérable de plusieurs entre-nœuds de la tige souterraine, qui devient grêle immédiatement après ce renflement. Sur cette partie souterraine, se développent des bourgeons axillaires qui se renflent aussi en petits tubercules arrondis. Un de ces bourgeons s'accroît et donne des feuilles et des fleurs, en absorbant le tubercule dont il provient ; la base de la tige aérienne ainsi formée se renfle à son tour et est, de la même manière, résorbée l'année suivante ; les autres bourgeons tuberculeux se détachent du tubercule souche et peuvent perpétuer le végétal.

Le bulbe du *Crocus vernus* se développe donc comme un rhizome indéterminé dont le tubercule d'une année détruit le tubercule de l'année précédente ; la croissance de ce rhizome est verticale, et par conséquent les tubercules se succèdent sensiblement à la même place.

Si l'on coupe en travers un tubercule de *Crocus vernus*, on voit qu'il est presque entièrement formé de tissu cortical où s'accumulent toutes les réserves. A un certain niveau, la coupe trans-

versale passe à la fois par le cylindre central qui correspond au pédoncule floral, et par celui qui correspond à la tige feuillée. Le premier cylindre central (celui du pédoncule) est entouré par l'endoderme qui présente des ponctuations très nettes; il renferme quatre ou cinq faisceaux, au milieu desquels se trouve une moelle peu développée; les cellules de ce cylindre central sont beaucoup plus petites que celles du tissu cortical, elles sont aussi plus serrées. Dans le second cylindre central (celui de la tige feuillée), l'endoderme n'est pas nettement reconnaissable, et les faisceaux libéro-ligneux, qui sont nombreux, sont très distincts les uns des autres et rangés sur plusieurs circonférences. Dans les tubercules du *Crocus vernus* à l'état de vie ralentie, j'ai constaté la présence de saccharoses, en quantité assez considérable; les glucoses y existent aussi, mais en quantité sensiblement moindre. Les glucoses augmentent au contraire beaucoup dès que le tubercule donne naissance à des tiges feuillées.

17. *Gladiolus gandavensis*. — Le tubercule du Glaïeul est

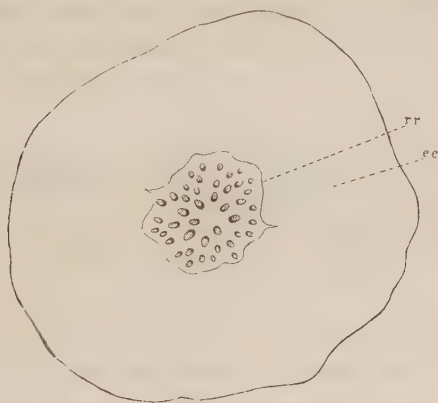


Fig. 40. — Coupe transversale du *Gladiolus gandavensis* : *ec*, écorce; *rr*, réseau radicifère entourant le cylindre central à nombreux faisceaux libéro-ligneux.

formé par le renflement de plusieurs entre-nœuds souterrains sur lesquels se développent des bourgeons qui, eux aussi, deviennent tuberculeux : c'est un rhizome indéterminé à croissance verticale.

Une coupe transversale à travers la partie médiane du tubercule (fig. 40) montre une structure qui rappelle celle du *Veratrum album* : l'écorce *ec* y est toutefois beaucoup plus développée, et c'est dans cette partie de la tige que s'accumulent les réserves. On voit dans le cylindre central un grand nombre de faisceaux libéro-ligneux entourant la moëlle.

Au moment où les tubercules de Glaïeul sont tout à fait à l'état de vie ralentie, c'est-à-dire quand on peut les conserver à l'état sec, on trouve qu'indépendamment de l'amidon ils renferment beaucoup de saccharoses; à ce moment du développement; c'est à peine si l'on trouve la trace des glucoses qui se développent abondamment dans le tubercule quand on le met dans la terre humide à la fin de l'hiver.

2. Tubercules formés par la tige avec développement des formations secondaires.

Tous les tubercules caulinaires que j'ai décrits jusqu'à présent avaient peu ou pas de formations secondaires. Je vais mainte-



Fig. 41. — Tige souterraine d'*Apios tuberosa* : *tg*, partie grêle; *tb*, tubercule; *b*, bourgeon se développant.

nant étudier quelques tubercules formés par la tige et où les formations secondaires intralibériennes sont très développées.

18. *Apios tuberosa*. — 1° *Morphologie externe*. — Les tubercules de l'*Apios tuberosa* (fig. 41) sont formés par un rhizome composé d'une suite d'entre-nœuds dont la partie supérieure est renflée, ce qui fait que cet organe se compose d'une série de

renflements ovoïdes séparés les uns des autres par des parties grêles.

L'ensemble d'une partie grêle et d'une partie renflée forme un entre-nœud. La dimension des tuberculès successifs va généralement en augmentant de la base du rhizome jusqu'au milieu, et diminue ensuite du milieu à l'autre extrémité. Sur chaque tubercule, prend naissance un bourgeon : le tubercule constitue la réserve nécessaire au développement de ce bourgeon.

2° *Anatomie.* — La comparaison entre la structure de la partie grêle du rhizome et celle de la partie tubérifiée nous montre des différences assez curieuses.

a. Description de la coupe de la partie grêle d'un entre-nœud (B, fig. 43). — La tige grêle est presque entièrement formée par le cylindre central : les faisceaux libéro-ligneux sont divisés en deux groupes distincts ; le péricycle bien net est formé de petites cellules que l'on voit en contact immédiat avec le liber en dedans et avec l'endoderme en dehors ; le bois est entièrement lignifié, et la moelle composée de grandes cellules à parois minces forme une lame aplatie ; cette disposition est due au grand développement des faisceaux libéro-ligneux. Le rhizome est entouré d'un liège endodermique.

b. Description de la coupe de la partie renflée de l'entre-nœud (A, fig. 42). — La partie tuberculeuse est exclusivement formée par le cylindre central : chacun des faisceaux libéro-ligneux, que nous avons observé dans la coupe précédente, devient très parenchymateux en passant dans le tubercule ; ces faisceaux conservent à peine quelques vaisseaux du bois *b* à l'intérieur, tout près de la moelle *m*. Vers la périphérie de ces faisceaux, on voit quelques groupes de vaisseaux du bois *v* autour desquels rayonne le parenchyme secondaire environnant ; le bois est à peine lignifié dans ces vaisseaux comme dans ceux du centre. Vers l'extérieur les vaisseaux du bois *b'* sont relativement plus nombreux ; ils sont entourés d'un liber secondaire peu développé ; ces vaisseaux extérieurs sont aussi sensiblement plus grands que ceux de l'intérieur, dont le diamètre est très petit.

Les parenchymes des rayons médullaires et de la moelle sont tellement semblables à celui des formations secondaires des faisceaux, qu'il y a une certaine difficulté à en distinguer nettement l'origine; de telle sorte qu'au premier abord on pourrait croire qu'il existe à la périphérie du tubercule un cercle régulier de faisceaux libéro-ligneux et qu'on prendrait volontiers pour des faisceaux épars dans la moelle les parties des formations secondaires du bois restées vasculaires. Le liège (*lg*, fig. 42) est

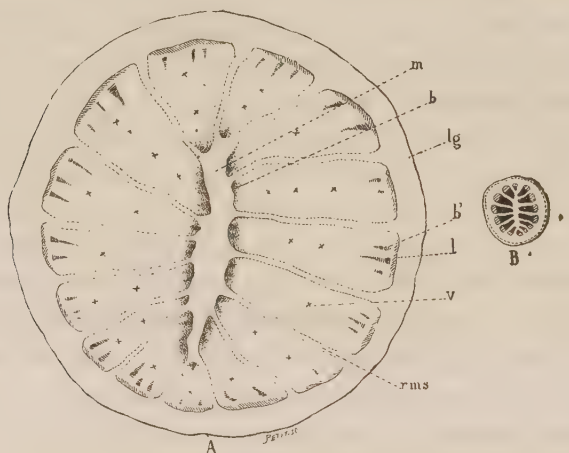


Fig. 42 (A) et 43 (B). — B, *Apios tuberosa*, coupe transversale de la tige souterraine dans sa partie grêle, montrant les faisceaux libéro-ligneux à bois lignifié (figuré en noir). — A, coupe transversale de la tige dans sa partie tubérifiée; *m*, moelle; *b*, bois primaire; *b'*, parties lignifiées du bois secondaire; *l*, liber; *rms*, rayons médullaires secondaires; *lg*, liège.

plus développé que dans la coupe précédente, il est très subérifié.

En résumé, presque tout le tubercule est constitué par les formations non lignifiées du bois, dont les éléments extérieurs ont, seuls ou presque seuls, conservé leur fonction d'éléments conducteurs, ceux de l'intérieur s'étant transformés en tissus de réserves.

Ces réserves consistent surtout en amidon, qui s'y trouve en très grande quantité, et en glucoses, dont la proportion est beaucoup plus faible; je n'y ai pas trouvé de saccharoses.

19. *Helianthus tuberosus*. — Les tubercules du Topinambour sont, comme on sait, formés par des rameaux souterrains, de la même manière que ceux de la Pomme de terre.

En observant la coupe transversale de ce tubercule (fig. 44), on voit que l'écorce, très peu développée, est entourée d'un

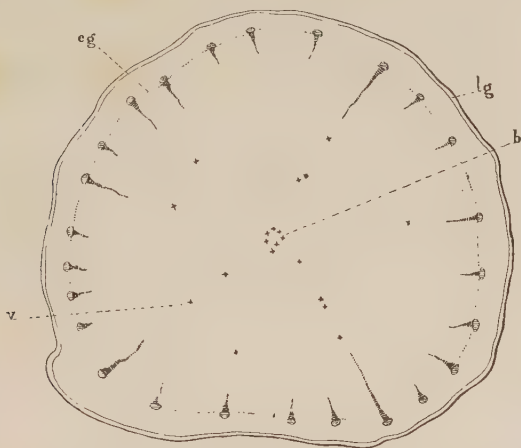


Fig. 44. — Coupe transversale du tubercule d'*Helianthus tuberosus* : *b*, bois primaire ; *v*, vaisseaux éparés dans les formations secondaires ligneuses ; *cg*, couche génératrice ; *lg*, liège.

liège *lg*, que le liber est aussi très peu développé, et que la moelle est presque nulle. Le tubercule est donc tout entier constitué par les formations secondaires non lignifiées du bois. Sauf les quelques vaisseaux (*b*, fig. 44) qui entourent la moelle, et ceux isolés, *v*, dans les formations du bois, disposés en rayons, il n'y a de vaisseaux lignifiés que vers l'extérieur, dans les parties qui correspondent au liber des faisceaux primaires.

20. *Scrofularia nodosa*. — Dans la Scrofulaire, la partie tubérisée de la tige souterraine est presque entièrement constituée par les formations secondaires ligneuses où le bois est extrêmement peu développé. Dans les tubercules de Scrofulaire, j'ai aussi constaté la présence de saccharoses bien plus abondants

dans l'état de vie ralentic et de glucoses plus considérables dans l'état de vie manifestée.

21. *Epilobium Fleischeri*. — Cette espèce, qu'on trouve surtout dans le lit des torrents élevés et sur les moraines des glaciers des Alpes, se multiplie au moyen de rejets souterrains, qui sont d'abord grêles, puis qui s'épaississent peu à peu, en prenant une consistance charnue.

En observant la coupe de la partie grêle très jeune, on observe quatre faisceaux libéro-ligneux primaires, et une écorce qui est rapidement exfoliée; les formations secondaires sont précoces, et dans la partie épaisse, c'est presque uniquement dans le parenchyme de ces formations que se trouvent situées les réserves.

II. — RACINE.

Les tubercules formés exclusivement ou presque exclusivement par la racine sont le plus souvent produits par des modifications des racines adventives, plus rarement par la racine principale.

Quelle que soit, d'ailleurs, la nature morphologique de la racine qui constitue ces tubercules, je les diviserai, comme ceux de la tige, en deux groupes, d'après la disposition de leur structure interne.

Dans le premier groupe, je place les tubercules, dont les formations secondaires ne se produisent pas, et dont la tubérisation est produite par un grand développement de l'écorce et de la moelle.

Dans le second groupe, je place les tubercules dont les formations secondaires sont, au contraire, très développées, et dont presque toute la tubérisation provient du parenchyme secondaire.

1. Tubercules formés par la racine, avec peu ou pas de formations secondaires développées.

1° Dicotyléaones.

22. *Ranunculus asiaticus*. — Les Renoncles, telles que le *Ranunculus asiaticus*, se perpétuent et se multiplient, comme on le sait, par ce qu'on nomme ordinairement des « griffes » ; ces griffes peuvent être conservées à l'état sec, et c'est sous cette

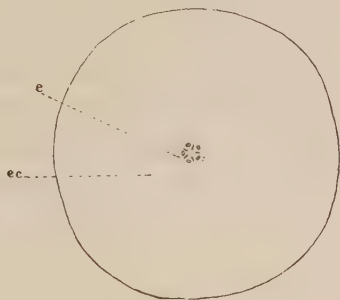


Fig. 45. — Coupe transversale de la partie renflée du tubercule de *Ranunculus asiaticus* : *ec*, écorce ; *e*, endoderme entourant le cylindre central.

forme qu'on les trouve habituellement dans le commerce. Cette plante nous présente le cas particulier d'un tubercule formé par les racines, et pouvant, comme le ferait une graine, se conserver pendant un temps assez considérable à l'état de vie ralentie.

Les griffes de la Renoncle des fleuristes sont formées par des groupes de racines adventives, ayant chacune un bourgeon à leur sommet.

La structure anatomique de ces tubercules est extrêmement simple : c'est exclusivement le grand développement de l'écorce primaire qui produit la tubérisation ; il suffit de faire une coupe transversale de l'un de ces tubercules (fig. 45), pour y constater la structure primaire qui persiste indéfiniment chez cette plante dicotylédone, et la réduction très grande du cylindre central par rapport à l'écorce (*ec*, fig. 45). M. G. Bonnier a observé une

structure tout à fait analogue dans les racines tuberculeuses des *Ranunculus monspeliacus* et *R. Chærophyllos*, dont il a étudié le développement (1).

Les réserves se présentent sous la forme d'amidon (en grande quantité), de glucoses et de saccharoses. La proportion respective de ces réserves varie beaucoup avec l'époque où on les observe ; l'amidon est toujours en quantité prépondérante, mais j'ai trouvé une différence considérable entre les quantités de glucoses et de saccharoses. A l'état de vie ralentie, le tubercule renferme peu de glucoses, et les saccharoses sont en quantité très notable ; quand, au contraire, le tubercule est en voie de formation ou de destruction, les glucoses augmentent très sensiblement et la proportion des saccharoses diminue ; il finit même par ne plus y avoir trace de saccharoses, comme je l'ai constaté dans quelques échantillons. J'ai obtenu ces résultats dans des expériences assez nombreuses, résultats toujours concordants au point de vue des variations des sucres avec le développement ; mais pour les divers échantillons, il y avait des différences assez considérables.

23. *Ficaria ranunculoides*. — Les racines tuberculeuses de la Ficaire sont aussi dépourvues de toute formation secondaire ; la moelle est, dans cette plante, un peu moins réduite que dans la Renoncule dont nous venons de parler ; l'étude de ces tubercules a d'ailleurs été faite par M. Van Tieghem (2).

2° Monocotylédones.

24. *Asphodelus albus*. — Il est très rare que les racines soient transformées en tubercules chez les Monocotylédones, où les réserves, comme on sait, s'accumulent ordinairement, soit dans des rhizomes, soit dans des bulbes. Toutefois, quelques plantes,

(1) G. Bonnier : *Observations sur les Renonculacées de la Flore de France* (Revue générale de botanique, t. I, 1889.)

(2) *Ann. des sc. nat., Bot.*, 5^e série, t. V, p. 83 et pl. X.

comme les Asphodèles, se perpétuent par la tubérisation de certaines de leurs racines adventives ; je prendrai pour type les racines tuberculeuses de l'*Asphodelus albus*.

Si l'on coupe l'extrémité non tubérifiée d'une racine d'Asphodèle, on y voit la structure normale de la racine tout à fait analogue à celle bien connue de la racine d'Iris, par exemple. On compte un grand nombre de faisceaux, une vingtaine, disposés sur un seul cercle, dans un cylindre central d'un demi-millimètre de diamètre.

Si l'on compare cette coupe à celle de la partie renflée, on voit que le calibre des vaisseaux est réduit d'une manière considérable. C'est à peine si on peut distinguer le péricycle de l'endoderme, au milieu de la sclérification des cellules qui les entourent ; on ne trouve donc plus guère, dans la partie tubérifiée, qu'un cylindre sclérifié, qui limite une moelle très développée et une écorce à cellules plus petites ; cette écorce n'est protégée par aucun liège, elle est simplement entourée par l'assise subéreuse primaire, placée encore en dedans de l'assise pilifère qui souvent persiste, ainsi que les poils absorbants, sur toute la surface du tubercule.

25. *Simethis planifolia*. — La propagation et la multiplication de cette Liliacée se fait aussi par des racines renflées qui ont 2 centimètres de longueur, sur 5 à 10 millimètres de largeur. C'est aussi dans la moelle et dans l'écorce que s'accumulent les réserves.

26. *Asparagus officinalis*. — Les réserves, dans les parties souterraines de l'Asperge, s'accumulent, comme on le sait, dans des racines agglomérées en une même région des tiges souterraines, et dont l'ensemble forme des sortes de griffes comme chez certaines espèces de Renoncles (voyez plus haut p. 49).

Si l'on coupe en travers l'une de ces racines, on y trouve au milieu un cylindre central relativement réduit et offrant la

structure normale des racines, avec de nombreux faisceaux ligneux et libériens, alternant et laissant entre eux la moelle.

C'est donc presque exclusivement dans l'écorce, très développée, que se trouvent accumulées les substances de réserve. La zone externe de cette écorce présente un assez grand nombre d'assises subérifiées, dont les plus extérieures sont même lignifiées.

2. — Tubercules formés par la racine, avec développement des formations secondaires.

Je vais maintenant décrire la structure d'un certain nombre de tubercules de Dicotylédones où les formations secondaires intralibériennes jouent le rôle principal dans la tubérisation.

27. *Spiræa Filipendula*. — 1° *Morphologie externe*. — Dans le *Spiræa Filipendula*, la tubérisation se manifeste par des renflements successifs qui se produisent sur des racines adventives. Ces racines se développent au premier printemps, et, dès le mois de mai, les renflements sont nettement indiqués; leur diamètre augmente jusque dans le mois d'octobre; à partir de cette époque leur augmentation n'est plus sensible, et les tubercules formés entrent dans une période de vie ralentie jusqu'au printemps suivant. Alors, les tubercules commencent à s'amollir, à se rider, il se forme des cavités dans leur intérieur à mesure que se développent les tiges feuillées. On peut généralement constater l'existence d'une période de quelques jours pendant laquelle la plante vit sans avoir de réserves localisées, les tubercules de l'année précédente étant déjà complètement épuisés et ceux de l'année suivante à peine indiqués.

2° *Anatomie*. — La morphologie interne des différentes par-

ties de la racine présente des particularités spéciales à chacun de ses tissus.

Si l'on coupe une très jeune racine de Spirée, on y trouve la structure normale d'une racine avec un petit nombre de faisceaux primaires, quatre par exemple, alternes avec quatre faisceaux libériens, un péricycle à une seule assise de cellules, un endoderme et une écorce, mais dans une racine encore très jeune, les formations secondaires libéro-ligneuses sont rapidement développées, et l'écorce est bientôt exfoliée par suite du développement d'un liège péricyclique.

Pour bien se rendre compte de la structure de ce tubercule, on peut comparer une coupe faite en B (fig. 46) dans l'intervalle de deux tubercules à une coupe faite en A, dans la partie du tubercule la plus renflée.

La coupe faite en B présente à peu près la structure que nous venons de décrire chez une racine de Spirée qui n'est déjà plus très jeune; c'est ce que fait voir la figure 48 où l'on remarque le bois secondaire *b'*, qui renferme ici de nombreux faisceaux très lignifiés.

Si l'on considère maintenant la coupe A (fig. 47), on peut y reconnaître, avec un peu d'attention, la place des quatre faisceaux primaires *b*, dont les vaisseaux sont assez réduits et qui sont séparés les uns des autres par une moelle qui n'est pas beaucoup plus large que celle de la coupe B. Il est alors facile de se rendre compte que la majeure partie du tubercule est formée en A par les tissus qui correspondent à *b'* en B, c'est-à-dire par les formations internes de la couche génératrice intra-libérienne. C'est seulement dans le rayon correspondant du liber primaire qu'on observe en série radiale *b'v* des vaisseaux du bois peu développés; on pourrait donc presque dire que tout le tubercule est constitué par les formations secondaires ligneuses transformées en parenchyme; la disposition radiale de ces formations est figurée en pointillé sur le schéma de la coupe A (fig. 47). En dehors de la couche génératrice *cg* on trouve un liber secondaire relativement développé, entouré par un liège abondant *lg*.

Une coupe faite en P dans la partie peu épaisse du tubercule a été photographiée directement (pl. 19, fig. 1); on y voit une

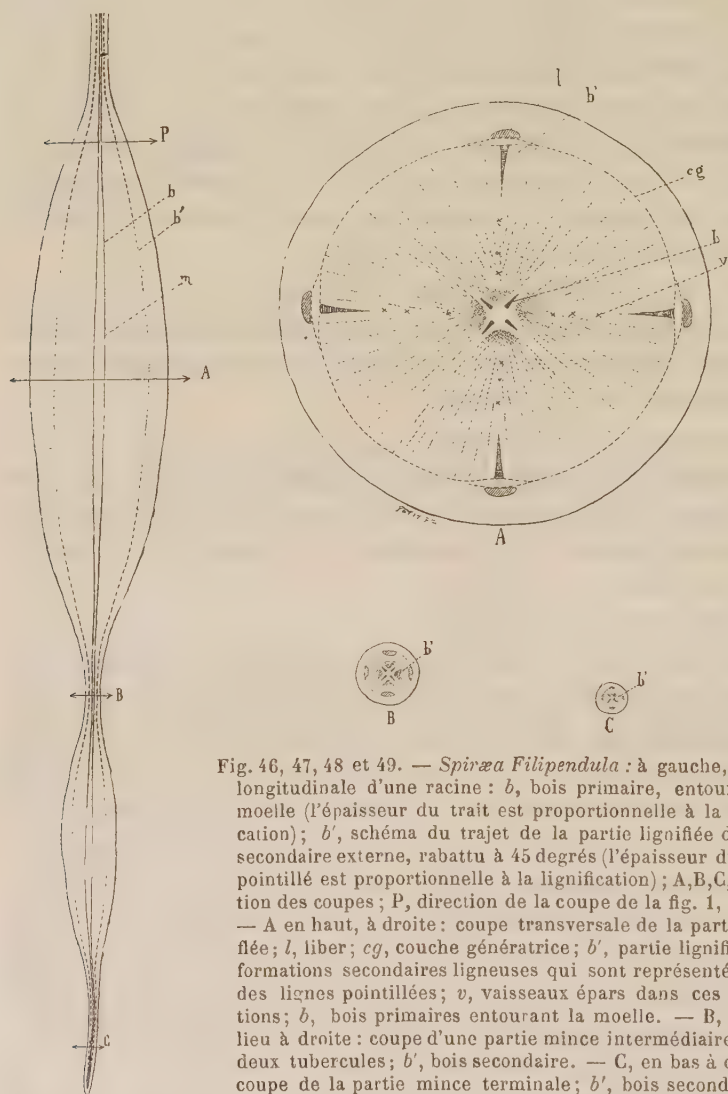


Fig. 46, 47, 48 et 49. — *Spiræa Filipendula* : à gauche, coupe longitudinale d'une racine : *b*, bois primaire, entourant la moelle (l'épaisseur du trait est proportionnelle à la lignification); *b'*, schéma du trajet de la partie lignifiée du bois secondaire externe, rabattu à 45 degrés (l'épaisseur du trait pointillé est proportionnelle à la lignification); A,B,C, direction des coupes; P, direction de la coupe de la fig. 1, pl. 19. — A en haut, à droite: coupe transversale de la partie renflée; *l*, liber; *cg*, couche génératrice; *b'*, partie lignifiée des formations secondaires ligneuses qui sont représentées par des lignes pointillées; *v*, vaisseaux épars dans ces formations; *b*, bois primaires entourant la moelle. — B, au milieu à droite: coupe d'une partie mince intermédiaire entre deux tubercules; *b'*, bois secondaire. — C, en bas à droite: coupe de la partie mince terminale; *b'*, bois secondaire.

structure exactement intermédiaire entre celle de la coupe B et celle de la coupe A.

Si, en effet, nous considérons cette coupe P (pl. 19, fig. 1), nous

remarquons au milieu la moelle limitée par les quatre faisceaux primaires dont les pointes externes sont très distinctes, et entre ces quatre faisceaux primaires, quatre masses radiales lignifiées qui vont de la moelle à la couche génératrice; ces quatre masses correspondent aux quatre bandes *b'* de la coupe A, qui sont ici plus développées.

Si l'on fait une coupe en C (fig. 46) à l'extrémité d'une racine ayant donné une série de tubercules, et arrêtée dans sa croissance, on y voit (C, fig. 49) les formations secondaires des bois *b* extrêmement lignifiées, presque confondues avec les faisceaux primaires et la moelle.

Je résumerai l'ensemble de cette structure au moyen de la figure 46, qui représente un schéma de la coupe longitudinale; les lignes pleines *b* représentent la position des faisceaux du bois primaire, et sont d'autant plus épaisses que les faisceaux sont plus lignifiés. On voit aussi que la moelle est un peu plus large dans la partie tubérifiée et que les vaisseaux de bois primaire y sont moins développés.

Les lignes ponctuées représentent la partie externe lignifiée des formations secondaires ligneuses, supposées rabattues à 45 degrés sur cette coupe (correspondant à *b'*, coupe A) : la ligne ponctuée est d'autant plus marquée que le bois secondaire est plus lignifié.

On constate ainsi, plus encore que pour les formations précédentes, que la lignification est inversement proportionnelle à la tubérification.

La composition des tubercules varie aussi avec la saison à laquelle on les observe : dans les tubercules en voie de développement on trouve des glucoses; on en trouve moins dans le tubercule inactif, et l'on en trouve, au contraire, une grande quantité dans le tubercule qui commence à entrer dans la vie manifestée. Les saccharoses, qui sont en très petite quantité dans les tubercules pendant la période de la vie manifestée, paraissent, au contraire, plus abondants dans le tubercule quand il est dans la période de la vie ralentie.

L'amidon remplit presque entièrement les cellules du tuber-

cule inactif, tandis qu'on voit les grains flotter çà et là dans les cellules du tubercule en voie de formation.

On observe aussi dans ces tubercules d'assez nombreux cristaux d'oxalate de chaux; on trouve ces cristaux, même dans les très jeunes tubercules où ils sont mêlés à l'amidon; leur nombre augmente sensiblement dans les tubercules plus âgés, et l'on peut facilement constater que ces cristaux ne disparaissent pas quand le tubercule est résorbé.

28. *Campanula barbata*. — J'ai récolté à divers états de développement un grand nombre d'échantillons de cette espèce sur la chaîne du Mont-Blanc, où elle descend jusqu'à la limite inférieure de la région subalpine.

Par la comparaison d'échantillons de différents âges, il est facile de se rendre compte que dans cette espèce, comme dans la plupart des autres *Campanules* vivaces, c'est surtout dans la racine principale que les réserves s'accumulent tous les ans, pour passer d'une saison à une autre.

Une coupe transversale faite au milieu de la racine principale d'un échantillon jeune montre que l'exfoliation de l'écorce est rapide, par suite de la formation d'un liège profond, et que l'assise des formations secondaires fournit presque dès le début un tissu abondant; les vaisseaux du bois se disposent, dans ce tissu, en lignes radiales, les réserves se localisent dans les rayons médullaires. Peu à peu, à mesure que l'on s'adresse à des échantillons plus âgés, on s'aperçoit que la racine principale subit ordinairement une singulière torsion sur elle-même: une coupe transversale dans une racine âgée montre qu'alors les formations secondaires du bois constituent presque toute la racine contournée, de la façon suivante:

Chaque ligne, primitivement radiale, de vaisseaux du bois correspondant originairement à un faisceau primaire est alors disposée suivant une courbe et vient se terminer dans la moelle à peine développée. Tous ces rayons ainsi courbés dans le même sens semblent former, avec le parenchyme qui est

autour, comme des lames qui auraient glissé les unes sur les autres, en déchirant le milieu des rayons médullaires. Il est facile de constater que la plupart des cellules de ce parenchyme où s'accumulent des réserves riches en inuline semblent rester vivantes aussi longtemps que la plante elle-même.

J'ai récolté aussi de nombreux échantillons de *Phyteuma spicatum* ; j'y ai observé une disposition anatomique sensiblement analogue.

Comme il était naturel de le prévoir, dans les divers échantillons de Campanule ou de *Phyteuma*, appartenant à une même espèce ou à des espèces différentes, la quantité relative des tissus lignifiés varie en sens inverse de la tubérisation ; c'est ainsi que ces tissus présentent le minimum de développement relatif dans la Raiponce cultivée, et son maximum de développement dans le *Phyteuma hemisphericum* récolté dans les Alpes, aux dernières limites de la végétation phanérogamique.

29. *Lathyrus tuberosus*. — Si l'on observe la germination du *Lathyrus tuberosus*, on voit que le premier tubercule est formé par le renflement de l'axe hypocotylé et de toute la partie supérieure de la racine principale. Mais ce tubercule est détruit au printemps de la seconde année, et les tubercules successifs des années suivantes sont formés par des racines adventives. Ainsi que l'a observé Royer, ces racines mettent trois ou quatre ans pour se développer complètement en tubercules. Chacun de ces tubercules porte un bourgeon à son sommet à la manière des bourgeons des Orchis.

A ce propos, il est très intéressant de faire observer que les tubercules du *Lathyrus tuberosus* et ceux d'une espèce voisine *Orobis tuberosus* (*Lathyrus macrorhizus* Wimm.), qui sont décrits dans toutes les flores comme formés de la même manière, sont absolument différents, aussi bien au point de vue de leur développement et de leur nature morphologique qu'au point de vue de leur structure : les tubercules du *Lathyrus tuberosus* sont des racines où les réserves s'accumulent dans les forma-

tions secondaires du bois entourées d'un liège très développé; les tubercules de l'*Orobis tuberosus* sont des bourgeons renflés, comme l'a montré M. Russel (1); ces bourgeons sont nés les uns des autres, sans aucune portion radiculaire, les réserves s'accumulent en grande partie dans l'écorce, et l'on n'observe aucune trace de liège.

En résumé, on voit que dans le *Lathyrus tuberosus* c'est surtout dans les formations secondaires peu lignifiées du bois de certaines racines adventives, que les réserves (amidon, sucres, etc.) s'accumulent pendant plusieurs années, pour perpétuer et multiplier l'espèce par le développement des bourgeons qui les terminent.

30. *Dahlia variabilis*. — Dans le Dahlia, les tubercules sont formés par des racines adventives et servent à la fois à multiplier et à perpétuer la plante.

On peut se rendre compte de la structure de ce tubercule en faisant des coupes successives depuis l'extrémité d'une de ses racines adventives jusqu'à sa partie la plus renflée.

Une coupe pratiquée dans le voisinage de l'extrémité (B, fig. 54) montre la structure ordinaire des racines et présente un petit nombre de faisceaux primaires, quatre par exemple, alternes avec les faisceaux libériens primaires; en même temps, apparaissent les formations secondaires, mais l'écorce, au lieu de s'exfolier, comme dans les cas précédents, persiste indéfiniment (*ec*, fig. 50), protégée contre les agents extérieurs, non par un liège proprement dit, mais par la lignification de ses couches externes.

L'endoderme *e*, toujours très net, et dont les plissements sont encore parfaitement distincts dans les parties les plus tubérifiées, sépare cette écorce du cylindre central.

Dans ce dernier, on distingue encore très nettement la position des faisceaux libériens primaires *l* et des faisceaux ligneux

(1) Mnss. inéd.

primaires *b* qui sont beaucoup plus nombreux que dans la partie mince de la racine.

La moelle *m*, en effet, est très développée dans la racine du *Dahlia*, et contribue pour une part, au moins aussi importante que l'écorce, à la formation des tissus de réserve.

Tout le reste du tubercule est constitué par les formations secondaires qui sont presque exclusivement parenchymateuses ;

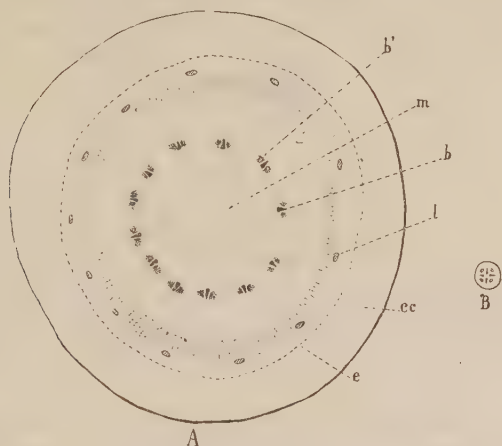


Fig. 50 et 51. — *Dahlia variabilis*. — B, coupe transversale de la partie mince d'une racine. — A, coupe transversale de la partie tubérifiée; *ec*, écorce; *e*, endoderme; *l*, liber primaire; *b'*, partie lignifiée du bois secondaire; *b*, bois primaire; *m*, moelle.

on ne trouve de bois secondaire lignifié, d'ailleurs très peu développé, qu'à droite et à gauche des faisceaux primaires en *b'* (fig. 50).

Ainsi donc, le tubercule du *Dahlia* est constitué à la fois par les formations secondaires, par la moelle, par l'écorce, et c'est presque également dans tous les tissus, dont les cellules sont à parois minces quelle qu'en soit l'origine, que s'accumulent l'inuline, les saccharoses, les glucoses, etc.

31. *Scorzonera hispanica*. — La racine renflée de la Scorzonère est entièrement formée par le développement des tissus

secondaires (fig. 52). Au centre, on voit un certain nombre de faisceaux primaires *b*; le bois secondaire *b'* *b''* forme une sorte de cylindre lignifié *b''* autour du bois primaire. Tout le reste de ce tissu est presque exclusivement parenchymateux, sauf, çà et

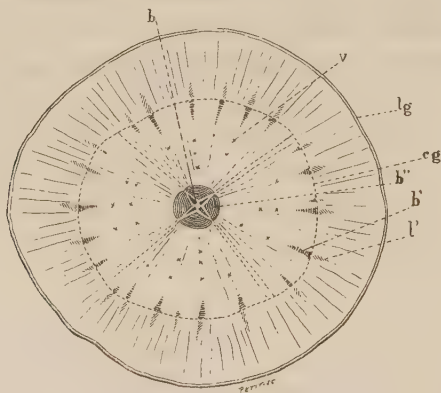


Fig 52. — Coupe transversale de la racine tubérifiée de *Scorzonera hispanica* : *lg*, liège; *l'*, liber secondaire; *cg*, couche génératrice; *b'* partie lignifiée externe du bois secondaire; *b''*, partie lignifiée interne du bois secondaire; *v*, vaisseaux épars dans les formations ligneuses secondaires; *b*, bois primaire.

là, quelques vaisseaux *v*, et vers l'extérieur quelques parties radiales lignifiées *b'*; le liber secondaire se compose presque exclusivement de parenchyme mou et est très développé; il est protégé vers l'extérieur par un liège *lg*.

32. *Aconitum Napellus*. — L'*Aconitum Napellus* est aussi une espèce qui se perpétue par les racines adventives renflées terminées par un bourgeon.

Si l'on examine la germination de cette plante (1), comme l'a fait M. G. Bonnier, on voit que le premier tubercule est dû au sommet de la racine principale et à l'extrême base de l'axe hypocotylé; ce dernier contribuant beaucoup moins encore que dans le *Lathyrus tuberosus* à la formation de la partie tubérifiée.

Tous les tubercules des années suivantes sont formés par les

(1) G. Bonnier: *Observations sur les Renonculacées de la Flore de France* (Revue générale de botanique, 1889).

racines adventives. En général, chacun de ces tubercules s'isole à l'automne et peut donner un nouveau pied au printemps suivant. Ainsi que l'observe Royer, on trouve quelquefois des tubercules digités, et M. G. Bonnier a fait voir qu'ils étaient constitués non par la ramification de la racine, mais par la concrescence de plusieurs racines adventives, comme un tubercule palmé d'Orchis.

J'ai pu vérifier que le développement des individus successifs se fait toujours du même côté, ainsi que l'a indiqué Royer ; de

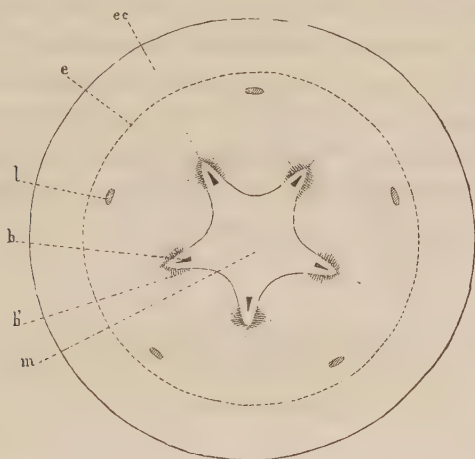


Fig. 53. — Coupe transversale de la partie tubérifiée d'une racine d'*Aconitum Napellus* : *ec*, écorce ; *e*, endoderme ; *l*, liber primaire ; *b*, bois primaire ; *l'*, partie lignifiée du bois secondaire ; *m*, moelle.

telle sorte que la plante qui ne produit souvent qu'une seule racine de remplacement s'avance chaque année de 1 à 3 centimètres.

Une section transversale d'une jeune racine d'Aconit présente la structure ordinaire d'une racine avec une moelle peu ou pas développée.

La moelle et les formations secondaires constituent au contraire la majeure partie du tubercule (fig. 53) ; la limite interne des formations secondaires forme alors une sorte d'étoile à cinq ou six rayons qui renferme les faisceaux ligneux primaires *b* et la moelle *m*. Les formations secondaires, sauf au voisinage du bois

primaire, sont presque entièrement parenchymateuses. Le cylindre central est entouré par l'endoderme et par une écorce.

Les diverses substances de réserve, amidon, sucre, etc., s'accumulent donc ici comme dans le *Dahlia*, à la fois dans les tissus parenchymateux de la moelle, de l'écorce et du cylindre central.

33. *Pæonia officinalis*. — La Pivoine se perpétue aussi par des racines adventives renflées, mais celles-ci mettent plusieurs années à acquérir leur développement total, tandis que la racine de l'Aconit se développe ordinairement en une seule année.

Si l'on fait une coupe dans la partie brusquement renflée du *Pæonia officinalis*, on voit que les faisceaux primaires y sont plus rapprochés les uns des autres que dans l'Aconit, et que la plus grande partie du tubercule est produite par le grand développement des formations secondaires.

III. — TIGE ET RACINE.

Quelques-uns des tubercules étudiés précédemment sont formés par la tige et, pour une très petite partie, par la racine. On sait qu'un grand nombre de tubercules sont, au contraire, formés par la racine principale et, en même temps, par la partie supérieure de l'axe hypocotylé; les plantes bisannuelles, telles que la Carotte ou la Betterave, sont des exemples classiques de tubercules ainsi constitués; je ne décrirai pas la structure bien connue de ces deux plantes, mais j'insisterai plus spécialement sur les tubercules vivaces, qui sont aussi formés par la racine principale et par la base de la tige.

34. *Aquilegia vulgaris*. — Si l'on fait germer des graines d'Ancolie, on voit, dès la première année, l'axe hypocotylé et le

sommet de la racine principale se renfler; telle est l'origine du tubercule de l'Ancolie qui va grossir en restant vivace et en produisant successivement de nombreux bourgeons adventifs. La structure de la très jeune racine issue de germination présente deux faisceaux primaires sans moelle développée, en croix avec deux faisceaux libériens.

A l'opposé de ce qui se passe chez les Renoncules, les racines même jeunes et étroites ont des formations secondaires précoces; la couche génératrice donne, vers l'intérieur, un parenchyme avec quelques vaisseaux du bois et, vers l'extérieur, un tissu de cellules plus grandes, entremêlées çà et là de faisceaux à tubes criblés.

L'écorce est très rapidement exfoliée et l'endoderme dont les cellules sont allongées tangentiellement, recloisonnées perpendiculairement à leur plus grande longueur et subérifiées, finit par devenir externe.

Dans la partie tubérifiée, on observe à peu près la structure que nous venons de décrire, sauf que les dernières assises de l'écorce et l'endoderme sont depuis longtemps exfoliés par une épaisse couche de liège péricyclique.

Ce qui est tout à fait remarquable et ce qu'on observe très rarement dans les tubercules, c'est que c'est surtout dans le parenchyme du liber secondaire que les réserves s'accumulent.

Le cylindre central d'une racine jeune présente deux faisceaux ligneux primaires sans moelle développée avec deux faisceaux libériens en croix.

Les racines même très étroites ont des formations secondaires précoces et actives; la couche génératrice donne un parenchyme mêlé de vaisseaux de bois à l'intérieur, et à l'extérieur un parenchyme à cellules plus grandes avec des faisceaux à tubes criblés.

L'écorce s'exfolie rapidement, et l'endoderme dont les cellules sont très allongées tangentiellement se recloisonnent et se subérifient.

35. *Bryonia dioica*. — Les tubercules de la Bryone sont formés par le renflement de la tige souterraine et, vers leur base, par le renflement de la racine. Ce sont des tubercules vivaces qui peuvent grossir pendant un nombre considérable d'années; j'en ai mesuré qui avaient plus de 11 centimètres de diamètre. J'ai suivi le développement de ces tubercules en partant de la germination; et il est assez facile de voir que les parties tubérifiées sont presque exclusivement formées par le renflement de la tige hypocotylée et par le haut de la racine principale.

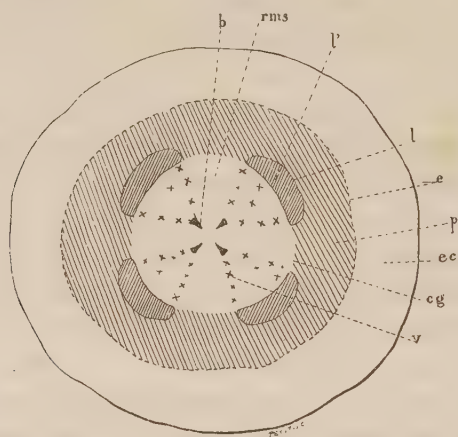


Fig. 54. — Coupe transversale de la partie caulinale d'un jeune tubercule de *Bryonia dioica* : *ec*, écorce; *e*, endoderme; *p*, péricycle; *l*, liber primaire; *l'*, liber secondaire; *cg*, couche génératrice; *v*, gros vaisseaux épars dans le bois secondaire; *rms*, rayons médullaires secondaires; *b*, bois primaire entourant la moelle.

Il faut étudier la structure du tubercule jeune, puis à différents états de développement, pour se rendre compte de la nature des tissus qui le forment. En faisant une coupe dans la partie supérieure d'un tubercule très jeune, on trouve ordinairement quatre faisceaux ligneux primaires disposés sur un seul cercle, sans aucun de ces faisceaux internes qu'on observe dans la tige aérienne.

Le péricycle est alors très développé et chacune de ses cellules se subdivise en plusieurs autres à parois minces. La moelle est très réduite et, autour du cylindre central, se trouve une écorce à cellules beaucoup plus grandes que celles du péricycle, avec

un endoderme très net, dont les plissements sont çà et là lignifiés; cette écorce est elle-même entourée d'un épiderme à cellules relativement très petites.

La couche génératrice (*cg*, fig. 54) des formations secondaires se produit presque en même temps que la différenciation des premiers vaisseaux; elle donne, vers l'intérieur, de grands rayons médullaires secondaires *rms* exclusivement formés par du parenchyme entre les faisceaux, et, en face du bois primaire, elle forme du parenchyme mêlé çà et là de quelques très gros vaisseaux du bois, *v*.

L'écorce ne tarde pas à être exfoliée par le cloisonnement rapide des cellules du péricycle; elle est déjà complètement détachée sur les tubercules qui n'ont pas 3 millimètres de diamètre.

Le péricycle, à son tour, est rejeté au dehors par un liège profond qui prend bientôt un grand développement. A partir de ce moment, on peut dire que c'est presque uniquement dans le parenchyme de toutes les formations précédentes, à l'intérieur de la couche génératrice, que s'accumulent chaque année les réserves nutritives abondantes qui s'accumulent dans la partie souterraine.

36. *Ruta graveolens*. — La morphologie interne de la partie renflée souterraine de la Rue est assez analogue à la précédente, mais il suffit d'une coupe transversale en travers d'une partie quelconque de ce tubercule, pour voir qu'à l'inverse de l'Ancolie, les réserves s'y accumulent surtout dans le parenchyme mou des formations secondaires ligneuses.

37. *Gaya simplex*. — Cette plante, qui est spéciale à la région alpine supérieure, est vivace au moyen de sa racine principale renflée. La partie tubérifiée est formée à la base par la racine, au sommet par la tige.

Si l'on coupe une jeune racine mince, on voit que les formations secondaires sont très précoces, qu'il n'y a pas de moelle

et que le bois primaire et le bois secondaire forment un cordon lignifié au milieu de la racine, tandis que le liber secondaire et parenchymateux est très développé.

Une coupe dans la partie inférieure de la région épaisse fait voir une structure analogue avec un très grand développement du liège qui a exfolié l'écorce. C'est surtout dans le liber secondaire que se trouvent les réserves (sucres, etc.).

Une coupe dans la partie supérieure de la portion tubérifiée montre encore la même structure, sauf que les rayons médullaires secondaires sont plus développés et qu'on voit apparaître une moelle peu étendue. Mais ce qui est particulièrement curieux

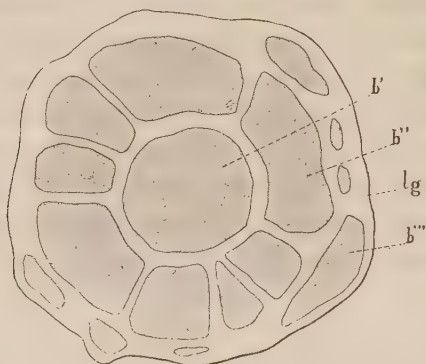


Fig. 55. — Coupe transversale d'une racine épaisse de *Gaya simplex* : *lg*, liège; *b'*, bois secondaire; *b''*, bois tertiaire; *b'''*, bois quaternaire.

dans cette espèce alpine, c'est l'étude des échantillons très âgés, où, chez cette plante, la partie souterraine, quoique très allongée, peut avoir un diamètre plus de dix fois plus grand que celui de la tige aérienne.

Je décrirai rapidement la structure de la partie d'un de ces tubercules qui correspond à la racine, chez un échantillon récolté dans la région alpine supérieure de la chaîne du Mont-Blanc et qui mesurait plus d'un centimètre de largeur. La comparaison de coupes successives faites dans cet échantillon soit entre elles, soit avec les coupes faites dans d'autres échantillons de divers âges, m'a permis de comprendre le mode de formation de cette structure anormale.

La figure 55 représente une coupe transversale de cette partie où l'on a représenté par une teinte les tissus où se trouvent les vaisseaux du bois.

Dans les parties figurées en blanc et qui sont disposées radialement, on ne trouve guère que du parenchyme mou ordinaire, homogène. Dans les parties laissées en blanc, mais qui sont disposées tangentiellement, on trouve du parenchyme ça et là entremêlé de tubes criblés. L'on peut ainsi se rendre compte d'après cette structure et d'après la comparaison des coupes dont j'ai parlé plus haut, que la partie centrale *b'* est formée par les formations secondaires normales, telles qu'on les observe dans les racines jeunes; mais dans le liber secondaire qui lui correspond, il s'est produit un certain nombre de formations nouvelles libéro-ligneuses qui ont donné lieu à des formations tertiaires ligneuses *b''* groupées autour des formations secondaires centrales *b'*.

Dans certaines régions du pourtour de la racine, il s'est produit dans le liber tertiaire de nouvelles formations libéro-ligneuses qui donnent lieu, vers l'intérieur, à la production de bois quaternaire *b'''*. Le tout continue à être protégé par un liège *lg* qui paraît se renouveler indéfiniment.

38. *Silene acaulis*. — On connaît cette petite plante à fleurs roses qui croît en touffes dans les hautes régions alpines; comme dans le *Gaya simplex* dont nous venons de parler, les parties souterraines de cette plante sont extrêmement développées.

C'est ainsi que, tandis que les tiges aériennes n'ont souvent guère plus de quatre centimètres, j'ai pu, déracinant avec soin un échantillon de cette plante, constater que les parties souterraines avaient près de trois mètres de longueur. C'est cette portion de la plante formée supérieurement par la tige plus ou moins rameuse, inférieurement par la racine principale et les radicelles, qui renferme les réserves alimentaires consistant surtout en amidon.

Une branche de la tige souterraine peut avoir plus de dix fois l'épaisseur du pédoncule floral.

Si je place cette Caryophyllée au voisinage de l'Ombellifère dont je viens de parler, c'est qu'au premier abord, une coupe de la partie la plus épaisse du corps souterrain de la plante présente le même aspect général (fig. 57 et fig. 55).

Lorsqu'on coupe une racine jeune, on y voit quatre faisceaux ligneux primaires sans moelle et des formations secondaires très

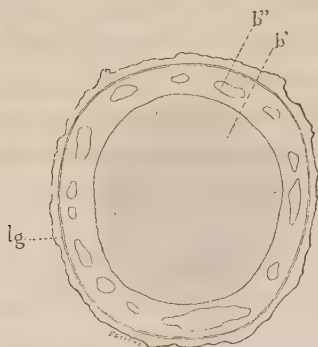


Fig. 56. — Coupe transversale de la racine épaissie de *Silene acaulis* : *lg*, liège ; *b'*, bois secondaire ; *b'''*, bois tertiaire.

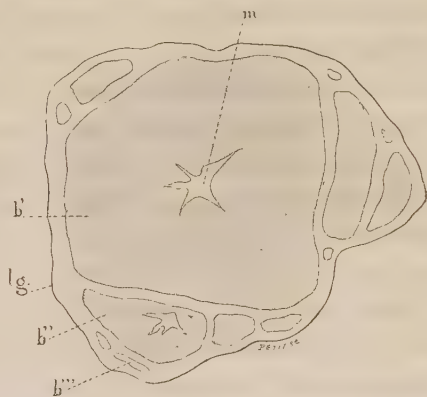


Fig. 57. — Coupe souterraine de la tige souterraine épaissie du *Silene acaulis* : *lg*, liège ; *m*, moelle limitée par le bois primaire ; *b'*, bois secondaire ; *b'''*, bois tertiaire ; *b'''*, bois quaternaire.

précoces, dont les parties ligneuses se confondent bientôt avec le bois primaire.

Un liège également précoce et très développé exfolie rapidement l'écorce. Dans la partie renflée, formée par la racine (fig. 56), on voit que, comme chez le *Gaya*, c'est surtout le parenchyme du liber secondaire qui contient les réserves. Dans la partie qui correspond à la tige (fig. 57), on trouve une moelle de forme irrégulière peu développée et à cellules relativement grandes.

Dans l'une comme dans l'autre partie, lorsqu'on examine un échantillon assez âgé, on observe la succession de formations secondaires, tertiaires et quaternaires qui donnent à la coupe transversale de la racine ou de la tige un aspect anormal

(fig. 56 et 57), tout à fait semblable à ce que je viens de décrire chez le *Gaya simplex*.

Il est curieux de trouver, chez deux plantes alpines si différentes morphologiquement, une aussi grande analogie de structure.

IV. — FEUILLES.

On sait que, dans un grand nombre de Monocotylédones, certaines feuilles s'épaississent considérablement et emmagasinent des réserves dans leurs tissus; l'ensemble de ces feuilles constitue un bulbe, qui lui-même peut produire des bulbes secondaires; c'est ainsi que se perpétuent et se multiplient un grand nombre de Liliacées, d'Amaryllidées, etc.

C'est toujours dans le parenchyme général de la feuille que se trouvent les réserves de ces plantes, et l'anatomie ainsi que le développement de ces bulbes (*Tulipa*, *Lilium*, *Allium*, etc.) sont trop connus et ont été décrits par de nombreux auteurs avec trop de détails pour qu'il soit nécessaire même de résumer l'exposé de leur organisation.

Je dirai seulement quelques mots d'un curieux exemple de bulbe analogue pris parmi les Dicotylédones.

39. *Oxalis Deppei*. — Le bulbe de cette plante est formé à l'extérieur de feuilles sèches veloutées, très minces en haut, et devenant épaisses à la base sans cesser d'être sèches. A l'intérieur, c'est-à-dire en dedans de quatre ou cinq épaisseurs de feuilles sèches, on trouve des feuilles vivantes minces et visqueuses; ces feuilles sont nombreuses; à mesure qu'on avance vers le centre, elles deviennent de plus en plus visqueuses et épaisses; elles sont moins larges que les feuilles extérieures; l'ensemble du bulbe est donc absolument comparable à celui d'un bourgeon.

Quand le bulbe est placé en terre et qu'il se développe en donnant naissance à une tige feuillée aérienne, on voit de nombreuses racines adventives sortir du bulbe en perçant les feuilles externes.

Les feuilles aériennes qui se développent alors ont une forme absolument différente de celles qui constituent le bulbe ; elles se produisent au-dessus de ces dernières feuilles, celles-ci semblant être réduites à la gaine des feuilles aériennes.

Le bulbe est donc formé par les gaines dans lesquelles s'accumulent les réserves ; au moment du développement des feuilles aériennes, on voit en effet au sommet des lamelles les plus intérieures, qui forment le bulbe, c'est-à-dire de celles qui recouvrent le point végétatif, un élargissement se produire : c'est le limbe des feuilles aériennes qui apparaît ; ainsi les grandes feuilles palmées aériennes de l'*Oxalis Deppei* et leur très long pétiole se développent au-dessus d'une gaine qui atteint 3 et 4 millimètres.

40. *Oxalis Acetosella*. — Dans le rhizome d'*Oxalis Acetosella*, nous voyons une disposition assez analogue ; mais, chez cette dernière plante, les feuilles gorgées de réserve et ayant l'apparence de petites perles blanches sont éloignées les unes des autres et ne forment pas un bulbe.

V. — TIGE, RACINE ET FEUILLES.

Il existe des tubercules qui sont formés par le renflement de toutes les parties de la plante : la racine, la tige et les feuilles.

Je prendrai pour type de ces tubercules complexes le tubercule jeune de l'*Anemone coronaria*.

41. *Anemone coronaria*. — Dans cette plante, le tubercule de

la première année est formé par la partie supérieure de la racine principale, par l'axe hypocotylé, par la base renflée des deux cotylédons et par la base de la gemmule.

Si l'on fait une coupe à la base du tubercule dans la partie renflée de la racine, on voit au centre de la coupe les deux faisceaux du bois confondus en une seule masse ; la tuberculisation est ici produite par le grand développement des formations secondaires du cylindre central, ainsi que par un certain développement de l'écorce ; il n'y a pas de moelle.

Si l'on fait une coupe un peu au-dessus de la partie que nous venons d'observer, cette coupe passe par l'axe hypocotylé. On aperçoit dans cette coupe la base du faisceau qui forme les premières feuilles de la gemmule ; la distinction entre le cylindre central et l'écorce devient très difficile à établir, quoiqu'on puisse bien distinguer le sommet de la gemmule dans laquelle on voit le prolongement des faisceaux primaires qui se rejoignent plus bas à ceux de la racine ; ces faisceaux sont de moins en moins différenciés à mesure qu'on s'approche du sommet de la jeune tige à peine ébauchée. On trouve une grande abondance de réserves dans tout le parenchyme qui relie entre eux les faisceaux libéro-ligneux.

Enfin, si l'on fait une coupe encore plus haut, on y observe quatre faisceaux libéro-ligneux principaux séparés les uns des autres par un tissu homogène rempli de réserves ; ce tissu peut être considéré comme représentant théoriquement le parenchyme de deux feuilles soudées et constituant le faux axe hypocotylé.

On voit donc que ce jeune tubercule de nature si complexe, formé par tous les organes excepté par la tige proprement dite, diffère complètement du tubercule bien connu qui se développe plus tard et qui est constitué par la tige : dans une même plante les réserves peuvent donc, d'après l'époque où on les considère, se trouver dans des organes différents.

VI. — FLEURS.

42. *Allium carinatum*. — On sait que chez quelques espèces du genre *Allium* un certain nombre de fleurs, et souvent toutes les fleurs de la plante, sont transformées en bulbilles ovoïdes et pédicellées.

Ordinairement, ces bulbilles sont compactes et sans feuilles apparentes; détachées de la plante et placées dans des conditions convenables, elles peuvent germer en donnant naissance à un nouvel individu; parfois, elles présentent dans l'inflorescence même un commencement de développement; on y voit alors un certain nombre de feuilles ou d'écailles. J'ai observé des bulbilles semblables développées exceptionnellement dans les ombelles du *Nothoscordum fragrans*. Les *Allium sativum*, *Scorodoprasum*, *vineale*, *oleraceum*, *carinatum*, etc., ont presque toujours des ombelles bulbifères; je prendrai pour type l'*Allium carinatum*.

Dans les bulbilles normales ovoïdes de cette espèce, une coupe transversale montre un parenchyme limité à l'extérieur et à l'intérieur par un épiderme très net; je dis à l'intérieur, voulant exprimer par là qu'on trouve au milieu de ces bulbilles une cavité, bien que cette cavité soit en réalité à l'extérieur des tissus. Six faisceaux libéro-ligneux dont le liber est tourné du côté extérieur de la bulbille sont disposés régulièrement au milieu du parenchyme. Par les intermédiaires que l'on observe souvent entre les bulbilles et les fleurs normales, il est facile de se rendre compte que ces six faisceaux correspondent aux six faisceaux que l'on trouve à la base des fleurs. On peut donc considérer la bulbille comme formée par la concrescence complète, sauf au centre, des diverses feuilles florales renflées, non distinctes les unes des autres, et où les réserves nutritives (amidon, glucose, etc.) s'accumulent dans le parenchyme.

La plupart de ces bulbilles sont entourées d'écailles très minces, et quelques-unes sont transformées en un bourgeon à feuilles distinctes les unes des autres au sommet (sous-variété *viviparum* de l'*Allium carinatum*).

L'étude de ces dernières bulbilles, jointe à celle des fleurs incomplètement bulbifiées, ne permet pas de douter de la nature morphologique de ces tubercules tout particuliers.

DEUXIÈME PARTIE

RECHERCHES PHYSIOLOGIQUES SUR LES TUBERCULES.

J'ai déjà indiqué dans la première partie de ce travail quelle est la nature des substances mises en réserves dans la plupart des tubercules étudiés et j'ai fait voir, en quelques cas, comment ces substances sont détruites, soit par une sorte de digestion interne de la plante elle-même, soit par des Champignons ou des Bactéries.

Dans la seconde partie de ce travail, je donnerai le résultat des recherches que j'ai entreprises sur la proportion d'eau contenue dans les tubercules, sur les variations du poids sec pendant leur développement et sur leur température en diverses circonstances.

J'ai laissé de côté, à dessein, l'étude de la respiration et de la transpiration des tubercules qui a déjà été entreprise par MM. Van Tieghem et Gaston Bonnier (1).

1. — Variations de la proportion d'eau et variations du poids sec des tubercules.

L'observation, même superficielle, d'un tubercule fait facilement constater que certains de ces organes souterrains renferment une quantité considérable d'eau contenue dans leurs tissus, tandis que d'autres, très secs d'apparence, en renferment extrêmement peu : l'eau, dans la première sorte de tubercules, constitue donc une véritable réserve localisée dans cet organe.

J'ai fait dessécher des tubercules d'espèces très diverses.

Je les ai placés, pour obtenir leur dessiccation complète, dans

(1) Ph. Van Tieghem et Gaston Bonnier : *Recherches sur la vie valentie et la vie latente* (Bull. Soc. bot. de France, 1880, 1881 et 1882).

une étuve à 110° et je les y ai laissés jusqu'à ce que leur poids ne change plus; je les pesais tous les huit jours; quelques-uns diminuant de poids pendant plus de six semaines, c'était presque toujours les plus secs (*Cyperus esculentus*, *Anemone hortensis*, *Ranunculus asiaticus*, etc.); les autres, à tissus plus humides, cessaient souvent de diminuer de poids au bout de huit à quinze jours (*Begonia erecta*, *Stachys tuberifera*, *Dahlia*, etc.).

Le poids de la matière sèche des différents tubercules par rapport à leur poids total varie beaucoup. Pour les tubercules à l'état de vie ralentie, j'ai trouvé les nombres suivants, pour 100 en poids du tubercule frais :

TABLEAU 1.

Poids sec des tubercules à l'état de vie ralentie.

<i>Begonia erecta</i>	11,2 p. 100.	<i>Oxalis Deppei</i>	36,3 p. 100.
<i>Daucus Carota</i>	11,4 »	<i>Helianthus tuberosus</i> .	60,2 »
<i>Dahlia variabilis</i>	15,2 »	<i>Anemone hortensis</i> ...	69,1 »
<i>Stachys tuberifera</i> ...	19,3 »	<i>Ranunculus asiaticus</i> .	84,6 »
<i>Oxalis crenata</i>	23,6 »	<i>Cyperus esculentus</i> ...	87,2 »
<i>Solanum tuberosum</i> ..	29,5 »		

Ces quelques nombres suffisent pour montrer l'extrême variabilité qu'il y a dans la quantité d'eau mise en réserve dans les tubercules de diverses espèces.

J'ai ensuite cherché les poids secs des tubercules de même espèce, à l'état de vie manifestée, après qu'ils furent restés un certain nombre de jours dans la terre, et j'ai trouvé comme expression du poids sec pour 100 en poids du tubercule frais, les nombres suivants après un séjour de dix jours de ces tubercules dans le sol :

TABLEAU 2.

Poids sec des tubercules après un séjour de dix jours dans le sol.

<i>Begonia erecta</i>	9,5 p. 100.	<i>Solanum tuberosum</i> ..	24,3 p. 100.
<i>Daucus Carota</i>	10,8 »	<i>Oxalis Deppei</i>	33,6 »
<i>Dahlia variabilis</i>	6,32 »	<i>Helianthus tuberosus</i> .	36,8 »
<i>Stachys tuberifera</i> ...	12,6 »	<i>Anemone hortensis</i> ..	64,2 »
<i>Oxalis crenata</i>	20,5 »	<i>Cyperus esculentus</i> ...	83,5 »

Il résulte de la comparaison de ces nombres avec ceux du

tableau 1, que le poids sec a diminué considérablement pour tous les tubercules, mais que la proportion dans la diminution est très différente; ainsi tandis que, pour l'Anémone et le *Cyperus*, cette diminution dans le poids sec est relativement très petite, pour le Dahlia et le Topinambour elle est très considérable.

Dans la troisième série d'expériences, c'est-à-dire après que les tubercules eurent passé vingt jours dans le sol, le poids sec a continué à diminuer, mais dans ce cas encore le rapport dans la diminution de ces poids est très variable pour les différents tubercules soumis à l'expérience; aussi tandis que le poids sec du Bégonia passe de 9,5 à 8,2, et celui de la Carotte de 10,8 à 9,3, le *Stachys*, dans les mêmes conditions, passe de 12,6 à 5,6, la Pomme de terre de 24,3 à 17,3 et le Topinambour de 36,8 à 24,5.

Une quatrième série d'expériences donnant le poids sec des tubercules restés trente jours dans le sol nous montre encore une diminution très faible pour le Bégonia et la Carotte, une diminution bien plus considérable pour le *Stachys* qui passe de 5,6 à 2,2, pour la Pomme de terre de 17,3 à 10,3, pour le Topinambour de 24,5 à 12,7; mais nous remarquons aussi une diminution considérable dans le poids sec pour les tubercules : *Oxalis Deppei*, de 18,7 à 10,5, d'Anémone de 50,3 à 34,5.

Une cinquième et une sixième série de pesées pour les tubercules restés dans le sol quarante jours et cinquante jours accentuent encore ces différences; tandis que le Bégonia et la Carotte ne perdent presque plus rien, et que leur poids sec varie à peine de 8 à 7, nous voyons le poids sec devenir presque nul pour la Pomme de terre et le Dahlia, et tout à fait nul (le tubercule n'existant plus) pour le *Stachys*. Nous voyons également le poids sec de l'Anémone diminuer considérablement et passer de 34,5 à 5. Le *Cyperus* aussi commence à avoir un poids sec beaucoup plus faible au bout de quarante jours, où il est passé de 87,2 à 22.

Nous pouvons conclure de ces quelques observations que certains tubercules (*Begonia*, *Daucus*, etc.), qui ont un poids sec très faible à l'état de vie ralentie, subissent, pendant le début

de leur développement, une diminution peu accentuée de ce poids sec; les réserves s'épuisent, mais il y a dans ces tubercules des parties qui résistent assez longtemps à la décomposition; d'autres tubercules (*Dahlia*, *Stachys*, etc.), qui ont aussi un poids sec assez faible à l'état de vie ralentie, s'épuisent très vite, et en quelques semaines le tubercule est entièrement détruit, soit que les réserves aient été assimilées, soit qu'elles aient été détruites par les bactéries; enfin nous voyons d'autres tubercules (*Anemone*, *Cyperus*, *Oxalis*, etc.), qui perdent très peu de leur poids sec pendant les premiers temps de la végétation, mais qui au bout d'un certain temps ont, au contraire, une destruction aussi rapide et même plus rapide que les précédents.

Chez le *Stachys tuberifera* j'ai cherché le poids sec des tubercules en voie de formation et j'ai constaté que ce poids augmente très régulièrement pendant les six ou sept semaines que mettent les tubercules à se former.

Quand les tubercules sont sous la forme de petites perles blanches, le poids sec est d'environ 2 p. 100, puis la proportion est déjà de 7 p. 100 quand ils ont à peu près la moitié du volume qu'ils doivent atteindre; quand le tubercule s'arrête, le poids sec atteint en moyenne 14 p. 100, et c'est lorsqu'il est resté un certain temps immobile qu'il atteint son maximum que j'ai trouvé égal à 19,3 p. 100.

Dans les tubercules anormaux j'ai obtenu comme moyenne 9,5 p. 100.

Pour les *Stachys tuberifera* et les *Cyperus esculentus*, j'ai cherché dans une série d'expériences quelle était la variation du poids sec pour un poids 100 du tubercule à l'état de vie ralentie.

Pour cela, j'ai mis dans le sol quinze tubercules de *Stachys* à l'état de vie ralentie et quinze tubercules de *Cyperus* dans les mêmes conditions; tous ces tubercules avaient isolément été exactement pesés; tous les huit jours j'ai enlevé du sol un de ces tubercules et j'en ai pris le poids sec. En ramenant les nombres que j'ai obtenus à un poids 100 de la matière sèche de tubercule, j'ai obtenu les résultats suivants.

Les nombres ci-dessous indiquent la diminution du poids sec des tubercules, pour un poids 100 de matière sèche contenue dans ces tubercules à l'état de vie ralentie (19,3 a été pris comme poids sec des tubercules de *Stachys* à l'état de vie ralentie et 87,2 pour ce même poids dans les tubercules de *Cyperus*).

<i>Stachys tubrifera.</i>				<i>Cyperus esculentus.</i>			
Perte après			p. 100.	Perte après			p. 100.
1 semaine.....	—	—	1,5	1 semaine.....	—	—	0,10
— 2 —	—	—	2,0	— 2 —	—	—	0,50
— 3 —	—	—	3,25	— 3 —	—	—	0,60
— 4 —	—	—	4,22	— 4 —	—	—	0,90
— 5 —	—	—	8,20	— 5 —	—	—	1,25
— 6 —	—	—	12,30	— 6 —	—	—	3,70
— 7 —	—	—	18,20	— 7 —	—	—	6,50
— 8 —	—	—	27,00	— 8 —	—	—	12,80
— 9 —	—	—	34,50	— 9 —	—	—	19,65
— 10 —	—	—	38,00	— 10 —	—	—	26,70
— 11 —	—	—	52,00	— 11 —	—	—	30,40
— 12 —	—	—	62,00	— 12 —	—	—	35,70
— 13 —	—	—	92,00	— 13 —	—	—	37,60
— 14 —	—	—	97,00	— 14 —	—	—	40,40
— 15 —	—	—	00,00	— 15 —	—	—	42,00

On voit que la proportion de poids sec diminue à mesure que le tubercule passe de l'état de vie ralentie (pendant laquelle cette proportion est à son maximum) à l'état de vie manifestée, à la fin de laquelle elle peut devenir nulle quand le tubercule est entièrement détruit.

On constate aussi qu'il y a un temps où la destruction de la substance sèche est beaucoup plus rapide : de la 11^e à la 14^e semaine dans les *Stachys*, de la 6^e à la 12^e semaine dans les *Cyperus*.

2. — Température des tubercules.

On a fait un certain nombre d'observations bien connues sur la température des végétaux : les unes portent sur la température de la fleur, les autres sur celle des fruits ou des tiges, ou

des graines germant. La plupart des observations faites ont surtout trait à la conductibilité des tissus végétaux.

Il m'a paru intéressant de mesurer la température des organes souterrains où s'accumulent les réserves et de voir quels étaient les rapports des températures de ces organes à leurs différents degrés de développement avec celle du sol.

Quelques observations avaient déjà été faites par Göppert, qui avait, par exemple, trouvé que les tubercules de Pommes de terre atteignaient dans certaines conditions, une température supérieure de 3 degrés à la température du sol.

Ces observations sont très délicates et exigent un temps considérable, à cause des nombreuses causes d'erreurs que comportent les manières d'opérer et l'extrême sensibilité des instruments dont on doit faire usage pour ces mesures.

J'ai employé deux méthodes pour mesurer ces températures : 1^o les appareils thermo-électriques où l'action est en rapport avec la déviation de l'aiguille aimantée d'un galvanomètre ; 2^o le thermomètre à mercure légèrement transformé pour rendre plus faciles et plus rapides les observations.

I. — APPAREILS.

1^o Description des aiguilles thermo-électriques employées pour mesurer la température des tubercules.

Ces aiguilles (fig. 58) ont été construites par M. Gaiffe d'après les indications de M. d'Arsonval.

Dans la pointe N de l'aiguille en acier nickelé se trouve une petite masse de melchior, toute la partie cylindrique de l'aiguille est creuse, et forme un tube d'acier nickelé ; vers la partie supérieure de l'aiguille en V' se trouve une vis de pression qui permet de mettre en contact un fil d'acier F' avec un cylindre également d'acier qui adhère à l'aiguille,

Dans l'intérieur de l'aiguille, se trouve un fil de melchior dont une extrémité est fixée à la petite masse de melchior qui est

dans la pointe, et dont l'autre extrémité vient s'enrouler en *c* sur un cylindre de melchior; dans ce cylindre on peut faire adhérer un fil *F* de laiton au moyen d'une vis de pression *V*.

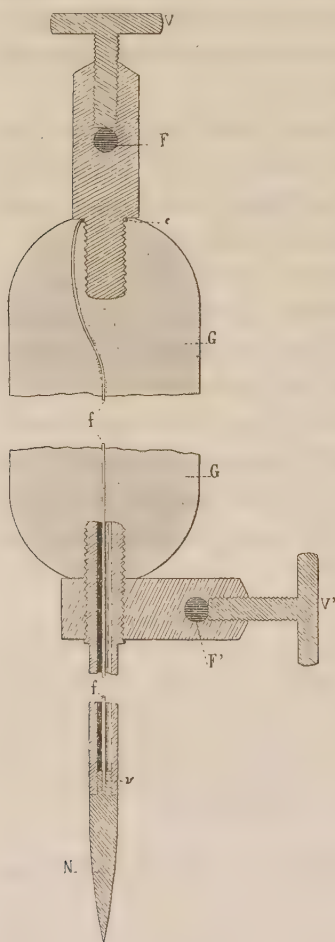


Fig. 58. — Coupe longitudinale d'une aiguille thermo-électrique.

On fait communiquer l'autre extrémité du fil *F'* avec une autre aiguille absolument identique, et l'on fixe cette dernière extrémité sur la seconde, comme on a fait pour la première.

Si les deux extrémités des deux aiguilles sont à la même température, on ne constatera pas de courant thermo-électrique, et si l'on met les fils partant de *F* dans les deux aiguilles, en communication avec un galvanomètre, on n'observera aucune déviation de l'aiguille de cet appareil; mais si l'une des aiguilles est plus chaude que l'autre, on verra immédiatement se produire une déviation indiquant un courant allant par le galvanomètre de la soudure la plus chaude à la soudure la plus froide; l'amplitude de la déviation peut servir à mesurer l'intensité du courant.

La partie supérieure de l'aiguille est entourée d'une gaine de gutta-percha qui permet de prendre les aiguilles avec les doigts sans provoquer de courant thermo-électrique; si le contact est très court et la température des doigts très peu différente de celle de l'air, l'isolement est suffisant.

Les courants produits par les différences de température que j'ai eu à mesurer sont très faibles, et ces appareils sont tellement délicats qu'il faut, pour constater et mesurer de si

faibles courants, des galvanomètres d'une extrême sensibilité.

Je me suis servi d'un galvanomètre de Thomson (1) (à droite, pl. 22 et 23; et fig. 59 et 60).

Je rappellerai en quelques mots la disposition de cet appareil, qui est combinée de manière à mesurer l'intensité de courants extrêmement faibles.

Un très court barreau aimanté ab , soutenu par un fil de soie sans torsion fixé à une vis v , porte un miroir m . Un poids p est placé à l'extrémité du fil de soie pour que le plan du miroir soit toujours bien vertical. Le barreau ab est placé au centre du cadre d'un multiplicateur dont on voit la coupe et l'une des extrémités du fil (fig. 59). Au moyen d'un barreau auxiliaire mobile autour de son centre et situé sur une tige verticale (pl. 21 et 22), on peut donner au petit barreau ab la direction que l'on voudra; on tourne ce barreau auxiliaire de telle manière que le miroir, éclairé par une lampe placée en avant de lui, envoie une petite image blanche sur le zéro de la graduation d'une règle di-

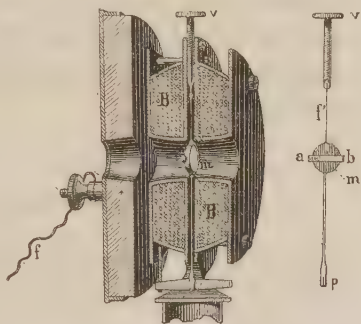


Fig. 59 et 60. — Détail du galvanomètre de Thomson.

visée, placée à une certaine distance de l'appareil (pl. 21 et 22). En élevant ou en abaissant le barreau auxiliaire, on augmentera ou on diminuera la sensibilité de l'appareil; mais il y a une certaine limite qu'il ne faut pas dépasser; quand le barreau auxiliaire est trop haut, la sensibilité de l'appareil est telle que la moindre cause d'erreur trouble absolument les mesures; dès que les courants que l'on veut mesurer ne sont pas extrêmement faibles, on a grand avantage à rabaisser un peu le barreau. Comme je l'ai dit plus haut, j'ai pu avec cet appareil mesurer l'intensité de courants thermo-électriques provoqués par une différence de température d'un centième de degré, mais par crainte des causes

(1) J'ai à remercier vivement M. Bouty, professeur à la Sorbonne, qui a bien voulu mettre cet appareil à ma disposition.

d'erreur, j'ai dû dans mes calculs et dans mes observations m'en tenir au cinquantième de degré.

Direction du courant. — Le courant, passant par le galvanomètre, va de la soudure la plus chaude à la soudure la plus froide ; rien n'est plus facile d'ailleurs que de vérifier dans quel sens dévie l'aiguille pour le côté le plus chaud : les deux aiguilles ayant la même température dans de la moelle de sureau, et l'image du miroir étant au zéro de la graduation, on approche le doigt de l'une d'elles ou même on la touche légèrement, on voit immédiatement l'image blanche courir sur l'échelle, et son déplacement à droite ou à gauche indique la direction que l'augmentation de température donne au courant ; on sait donc que si dans une expérience suivante l'image prend cette même direction, c'est que l'aiguille touchée sera la plus chaude, et inversement.

2° Graduation de l'appareil.

Pour graduer l'appareil, c'est-à-dire pour constater à quelle différence de température correspondait dans mes expériences une division de la règle, j'ai plongé l'une des aiguilles thermo-électriques dans de l'eau à 5° et l'autre dans de l'eau à 6° ; la température de l'eau était donnée par deux thermomètres très exacts, indiquant des dixièmes de degré. J'ai placé la règle graduée à une distance telle que la déviation soit de 25 divisions ; comme il est facile de mesurer, même à l'œil nu, une demi-division, j'ai pu compter sur la mesure d'un cinquantième de degré ; le contrôle de ces indications a été fait, c'est-à-dire qu'après avoir ramené l'image au zéro, j'ai interverti la place des aiguilles ; celle qui était dans l'eau à 6° a été mise dans l'eau à 5° et inversement ; la déviation a encore été de 25 divisions. J'ai opéré de même en mettant l'une des aiguilles dans de l'eau à 10° et l'autre dans de l'eau à 11°, puis l'une dans l'eau à 15° et l'autre dans l'eau à 16° et ainsi de suite, et j'ai chaque fois placé la règle à une distance de l'appareil nécessaire pour produire une déviation de 25 divisions correspondant à une

différence de 1° . Les expériences vont depuis -6° jusqu'à $+14^{\circ}$.

Une déviation de 25 divisions de la règle graduée correspondant ainsi à une différence de température des aiguilles de 1° degré, on voit qu'une déviation d'une division correspond à 0,04 de degré et celle d'une demi-division à 0,02 de degré, approximation qui pourrait être dépassée, mais à laquelle j'ai cru plus prudent de m'arrêter, à cause des très nombreuses précautions à prendre pour éviter les erreurs inhérentes à l'emploi d'appareils aussi sensibles que le galvanomètre de Thomson et les aiguilles thermo-électriques.

3° Précautions à prendre dans l'emploi des aiguilles thermo-électriques et de l'électromètre de Thomson pour la mesure des températures des tubercules.

L'appareil peut indiquer des centièmes de degré, mais pour obtenir une pareille sensibilité il faut tellement diminuer l'intensité de la force directrice de la terre, en remontant l'aimant, que la moindre action étrangère à l'expérience agit sur l'aiguille, et les causes d'erreurs deviennent plus nombreuses et plus considérables. Quand l'appareil est si sensible, l'aiguille est toujours en mouvement sous l'influence des variations les plus faibles de l'intensité du magnétisme terrestre. Aussi n'ai-je pas cherché à pousser la sensibilité jusqu'à ce point ; j'ai gradué l'appareil de manière à ce qu'il indique seulement des cinquantièmes de degré. Même avec cette sensibilité relativement moindre, bien des précautions sont nécessaires pour pouvoir considérer comme certains les résultats donnés par un appareil aussi délicat.

1° A cause des changements constants dans l'état du magnétisme terrestre, l'image se déplace fréquemment et ce déplacement peut atteindre jusqu'à 10 divisions de la règle en moins d'une demi-heure ; il est donc indispensable, après chaque opération, de remettre les deux aiguilles à une même température dans la sciure de bois et de vérifier si l'image revient bien au zéro de la graduation ; si elle n'y revient pas, il faut tenir compte de

ce déplacement. Si la déviation se fait dans le sens de celle donnée par le tubercule, il faut retrancher du nombre de divisions observées le nombre de divisions qui séparent actuellement l'image du zéro; dans le cas où la déviation se fait en sens contraire, il faut au contraire ajouter au nombre de divisions observées dans l'expérience le nombre de celles qui indiquent le changement du magnétisme terrestre.

2° Il faut toujours faire une expérience de contrôle, mettre dans le tubercule l'aiguille qui était dans la sciure de bois et inversement : les deux déviations, quand on a fait les corrections indiquées précédemment, doivent être égales. — On voit donc que la mesure exacte d'une température dans ces conditions exige près d'une heure.

3° Il faut aussi tenir compte des variations accidentelles; si, par exemple, l'on s'approche de l'appareil, en ayant une clef sur soi, il se produit une déviation qui peut quelquefois être de 20 à 23 divisions; si l'appareil est placé près d'une porte, le déplacement de la serrure de fer quand on ouvre ou quand on ferme la porte est suffisant pour provoquer des déviations qui entacheraient d'erreur les observations. Le déplacement d'une personne dans la salle peut aussi, par le mouvement donné au sol de la pièce, provoquer des oscillations de l'aiguille qui retardent les expériences; toute cause d'élévation de température extérieure doit être évitée avec le plus grand soin, les résultats de l'expérience seraient faussés; ainsi le bec de gaz dont je me servais pour produire l'image brillante sur le miroir a dû aussi être reculé; la chaleur qu'il provoquait au bout de quelques instants suffisait pour influencer les aiguilles et même les tubercules.

4° L'aiguille doit être introduite le plus lentement possible dans le tubercule; le frottement développe en effet de la chaleur, que l'on pourrait facilement considérer comme étant due à la température du tubercule. C'est surtout dans les tubercules secs à tissu résistant que cette température est sensible; elle peut être de 3 à 4 degrés.

5° Les aiguilles doivent être maniées avec beaucoup de déli-

catesse; elles ne doivent jamais être touchées que par la substance isolante et le moins longtemps possible.

Les tubercules dans mes expériences n'ont été touchés qu'avec des pinces de bois.

Le galvanomètre doit être placé sur une plate-forme en bois, fixé au mur et non sur une table ou un support s'appuyant sur le parquet; cette disposition empêche l'appareil de subir les trépidations du sol, quand on se déplace dans la salle.

Il est avantageux d'avoir les doigts enfermés dans des poches de caoutchouc.

4° Description des thermomètres employés pour mesurer la température des tubercules.

J'ai employé, pour mesurer la température des tubercules, des thermomètres spéciaux dont le réservoir avait une forme effilée (R, fig. 60), qui ont été construits avec grand soin par M. Alvergnyat.

Les fig. 61 et 62 représentent le dispositif d'une expérience, où l'on comparait la température d'un tubercule germant (A) à un tubercule de la même espèce, placé exactement dans les mêmes conditions, mais à l'état de vie ralentie.

En perforant un tubercule et en y introduisant le réservoir d'un thermomètre, on met évidemment le tubercule dans un état anormal qui peut avoir de l'influence sur sa température; cet effet s'est toujours manifesté par une augmentation de température; mais, en général, cette augmentation qui atteint quelquefois plusieurs degrés est de peu de durée. En effet, si

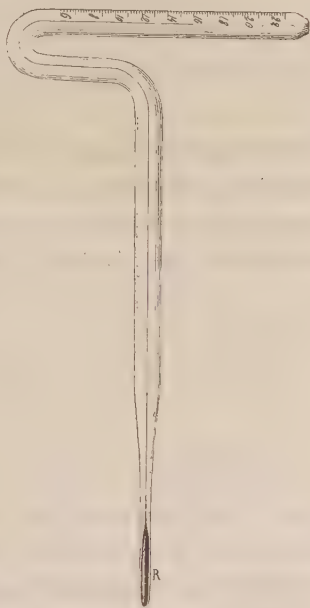


Fig. 61. — Thermomètre employé pour la mesure des températures des tubercules.

le thermomètre reste fixé plusieurs mois dans la cavité pratiquée dans le tubercule, les rapports des températures indiquées avec celles des milieux ambiants ont été à très peu près les mêmes que ceux indiqués par les tubercules de même espèce sur lesquels on opérerait peu de temps après la perforation.

L'essentiel est d'attendre que la chaleur développée par la

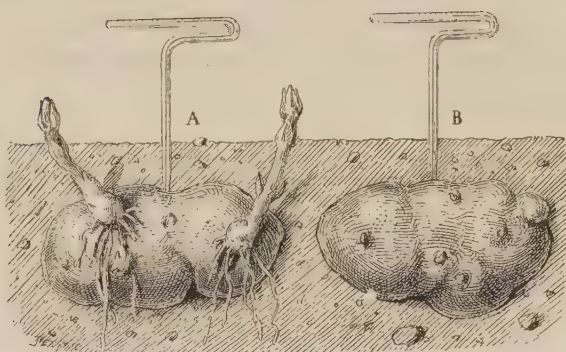


Fig. 62. — Mesure de la différence des températures entre un tubercule germant A, et un tubercule à l'état de vie ralentie B.

perforation soit dégagée et ne vienne pas s'ajouter à la chaleur propre du tubercule. Le frottement du réservoir du thermomètre dans le tubercule peut provoquer momentanément une élévation de température notable.

II. — MESURES.

1° Température des tubercules à l'état de vie ralentie.

Ces expériences sur les tubercules à l'état de vie ralentie, c'est-à-dire sans aucune manifestation vitale apparente, ont été faites de la manière suivante : Dans une première série d'expériences, j'ai placé ces tubercules au milieu de la sciure de bois dans une caisse de 50 centimètres de longueur sur 25 centimètres de largeur ; les bords de cette caisse étaient recouverts d'une couverture de laine sur laquelle s'appuyait

le couvercle; de cette façon, l'air se renouvelait très lentement dans la caisse, et la température variait peu à cause de la très mauvaise conductibilité de la sciure de bois. Cette température était donnée par cinq thermomètres marquant les dixièmes de degré et placés à différentes profondeurs dans la sciure de bois qui remplissait la caisse. Au bout de dix heures environ, les cinq thermomètres indiquaient tous la même température, à peu près celle de la chambre où se faisait l'expérience. Quand la température était restée constante pendant quarante-huit heures sans varier d'un cinquième de degré, je m'assurais alors que l'image du miroir du galvanomètre était au zéro de la graduation de l'échelle; les deux aiguilles thermo-électriques doivent toutes deux être plongées depuis plusieurs heures dans le même morceau de moelle de sureau, et être restées depuis plusieurs heures dans la même chambre, dans la sciure de bois.

Dans toutes les expériences, l'image s'est déplacée de façon à indiquer une température plus élevée dans le tubercule que dans la sciure de bois; mais cette déviation ne persiste pas, elle est toujours trop forte, même si l'on a la précaution d'enfoncer très doucement l'aiguille dans le tubercule; il faut tout d'abord au moins cinq minutes pour que l'aiguille du galvanomètre ait cessé d'osciller, mais on doit, même au bout de ce temps, se méfier encore de cette immobilité, qui n'est ordinairement qu'apparente; l'image continue pendant un quart d'heure environ à se rapprocher du zéro, lentement et sans oscillation; elle finit alors par garder une position définitive, à une distance fixe du zéro, d'où l'on peut conclure l'excès de température du tubercule sur celle de la sciure de bois.

Voici les résultats d'une première expérience faite sur trois tubercules de chaque espèce, à l'état de vie ralenti, la température de la caisse indiquée par les cinq thermomètres étant de 6 degrés au-dessous de 0. L'exactitude des nombres trouvés est obtenue à 0,02 près, comme nous l'avons vu, c'est-à-dire que les températures indiquées sont exactes à un cinquantième de degré près.

Température des tubercules placés dans un milieu dont la température est de — 6 degrés.

	Excès de température Moy. des tubercules sur la temp. du milieu.				
<i>Hyacinthus orientalis</i> ...	4°56	4°44	4°30	4°46	1°54
<i>Tulipa Gesneriana</i>	5,00	4,35	4,30	4,55	1,45
<i>Cyclamen europæum</i> ...	5,50	5,20	5,10	5,25	0,75
<i>Solanum tuberosum</i>	4,22	4,10	3,90	4,07	1,93
<i>Iris germanica</i>	5,00	4,80	4,64	4,85	1,19
<i>Canna indica</i>	4,75	4,60	4,55	4,63	1,37
<i>Gladiolus gandavensis</i> ..	4,25	4,10	3,95	4,10	1,90
<i>Helianthus tuberosus</i> ...	5,10	4,90	4,80	4,93	1,07
<i>Dahlia variabilis</i>	5,17	4,90	4,60	4,89	1,11
<i>Stachys tuberifera</i>	4,20	4,00	3,80	4,00	2,00
<i>Cyperus esculentus</i>	4,10	3,90	3,50	3,83	2,17
<i>Convallaria maialis</i>	5,06	5,08	4,84	4,99	1,01
<i>Anemone coronaria</i>	5,40	5,20	5,20	5,26	0,74
<i>Crocus vernus</i>	4,50	4,30	4,26	4,35	1,66
<i>Begonia erecta</i>	5,55	5,35	5,00	5,30	0,70
<i>Ranunculus asiaticus</i> ...	5,00	4,80	4,76	4,85	1,15

Température des tubercules dans un milieu dont la température est de + 3 degrés.

	Excès de la température Moy. des tubercules sur celle du milieu.				
<i>Hyacinthus orientalis</i> ...	3°80	4°00	4°25	4°01	1°01
<i>Tulipa Gesneriana</i>	3,40	3,70	4,30	3,80	0,80
<i>Cyclamen europæum</i> ...	4,25	4,30	4,65	4,46	1,46
<i>Solanum tuberosum</i>	4,37	5,20	5,30	4,95	1,95
<i>Iris germanica</i>	3,90	4,20	4,22	4,10	1,10
<i>Canna indica</i>	4,07	4,10	4,20	4,12	1,12
<i>Gladiolus gandavensis</i> ..	3,90	3,95	4,12	3,99	0,99
<i>Helianthus tuberosus</i> ...	3,60	3,90	4,12	3,87	0,87
<i>Dahlia variabilis</i>	3,90	4,10	4,18	4,06	1,06
<i>Stachys tuberifera</i>	4,30	4,50	4,65	4,48	1,48
<i>Cyperus esculentus</i>	3,80	3,95	4,10	3,95	0,95
<i>Convallaria maialis</i>	3,40	3,50	3,55	3,48	0,48
<i>Anemone coronaria</i>	3,15	3,25	3,40	3,26	0,26
<i>Crocus vernus</i>	3,30	3,45	3,70	3,48	0,48
<i>Begonia erecta</i>	3,90	4,20	4,30	4,13	1,13
<i>Ranunculus asiaticus</i> ...	3,30	3,50	3,50	3,43	0,43

**Température des tubercules dans un milieu dont la température
est de + 11 degrés.**

	Excès de température Moy. du tubercule sur celle du milieu.				
<i>Hyacinthus orientalis</i>	11°23	11°80	11°83	11°63	0°63
<i>Tulipa Gesneriana</i>	11,32	11,43	11,90	11,33	0,33
<i>Cyclamen europæum</i>	11,93	12,70	12,90	12,51	1,51
<i>Solanum tuberosum</i>	12,23	12,80	13,10	12,71	1,71
<i>Iris germanica</i>	11,30	11,43	11,60	11,43	0,43
<i>Canna indica</i>	11,60	11,60	11,90	11,70	0,70
<i>Gladiolus gandavensis</i> ..	11,38	11,30	11,70	11,32	0,32
<i>Helianthus tuberosus</i>	11,70	11,80	11,90	11,80	0,80
<i>Dahlia variabilis</i>	11,80	11,93	12,03	11,93	0,93
<i>Stachys tuberifera</i>	11,60	11,93	12,06	11,87	0,87
<i>Cyperus esculentus</i>	11,63	11,82	12,00	11,82	0,82
<i>Convallaria maialis</i>	11,22	11,23	11,40	11,29	0,29
<i>Anemone coronaria</i>	11,10	11,22	11,36	11,22	0,22
<i>Crocus vernus</i>	11,33	11,40	11,52	11,42	0,42
<i>Begonia erecta</i>	11,34	11,80	12,10	11,81	0,81
<i>Ranunculus asiaticus</i>	11,20	11,37	11,48	11,33	0,33

Si nous comparons les excès moyens de température d'une même espèce, à l'état de vie ralentie, sur la température du milieu ambiant, nous pouvons dresser le tableau suivant qui rapproche les résultats moyens obtenus à -6° , à $+3^{\circ}$, à $+11^{\circ}$.

**Excès moyens de température des tubercules d'une même espèce
à l'état de vie ralentie sur la température du milieu ambiant.**

	Excès à -6° .	Excès à $+3^{\circ}$.	Excès à $+11^{\circ}$.
<i>Hyacinthus orientalis</i>	1°54	1°01	0°63
<i>Tulipa Gesneriana</i>	1,43	0,80	0,33
<i>Cyclamen europæum</i>	0,73	1,46	1,51
<i>Solanum tuberosum</i>	1,93	1,93	1,71
<i>Iris germanica</i>	1,19	1,10	0,43
<i>Canna indica</i>	1,37	1,12	0,70
<i>Gladiolus gandavensis</i>	1,90	0,99	0,32
<i>Helianthus tuberosus</i>	1,07	0,87	0,80
<i>Dahlia variabilis</i>	1,11	1,06	0,93
<i>Stachys tuberifera</i>	2,00	1,48	0,87
<i>Cyperus esculentus</i>	2,17	0,93	0,82
<i>Convallaria maialis</i>	1,01	0,48	0,29
<i>Anemone coronaria</i>	0,74	0,26	0,22
<i>Crocus vernus</i>	1,63	0,48	0,42
<i>Begonia erecta</i>	0,70	1,13	0,81
<i>Ranunculus asiaticus</i>	1,13	0,43	0,33

Tous les résultats numériques donnés dans les tableaux précédents ont été obtenus au moyen des aiguilles thermo-électriques, mais elles ont été contrôlées par les indications du thermomètre à mercure à réservoir effilé que j'ai plongé dans chaque tubercule, en prenant toutes les précautions que j'ai indiquées et qui sont nécessaires pour obtenir une température exacte.

D'après la comparaison des nombres donnés dans ces tableaux, on peut conclure, d'une manière générale, qu'un tubercule résiste d'autant plus au froid que le froid est plus intense; nous ne trouvons d'exception que pour les tubercules de *Cyclamens* et de *Bégonias*, tubercules qui ont d'ailleurs beaucoup de rapports morphologiques, pour la Pomme de terre, et encore dans cette dernière espèce la différence est très faible; enfin pour le *Cyperus* j'ai trouvé à -6° une différence très considérable entre les températures du tubercule et celle du milieu ambiant, à -6° et à $+3^{\circ}$; il est possible qu'il y ait pour ce tubercule, qui était absolument sec, à tenir compte d'une cause particulière d'erreur, la mauvaise conductibilité des tubercules.

Nous remarquons aussi que le *Crocus* et le *Ranunculus* présentent une différence dans le même sens; ces plantes ont aussi un tubercule assez sec; il peut y avoir la même cause d'erreur que pour le *Cyperus*.

Dans une deuxième série d'expériences, j'ai mis dans de la terre les tubercules à l'état de vie ralentie, et j'ai comparé la température de ces tubercules avec celle de la terre.

J'ai opéré quand la température de la terre était de 11 degrés, température qui était d'environ un degré inférieure à celle, presque absolument constante, de la chambre où j'opérais; les tubercules étaient dans une grande caisse remplie de terre, sur laquelle les variations très faibles de température extérieure n'avaient pas d'effet appréciable pour les thermomètres de précision qui y plongeaient. La terre était maintenue légèrement humide, dans des conditions aussi rapprochées que possible des conditions naturelles.

Pour tous les tubercules sur lesquels j'ai opéré, j'ai trouvé

après trois jours de séjour dans la terre une moyenne d'excès de température supérieure à celle obtenue quand les tubercules étaient dans la sciure de bois, comme l'indique le tableau suivant.

Excès moyens de température des tubercules à l'état de vie ralentie sur la température de la terre à 11 degrés, après un séjour de trois jours dans la terre.

	Excès dans la sciure de bois.	Excès dans la terre.	Excès dans de la moelle de sureau dans un tube.
<i>Hyacinthus orientalis</i>	0,63	0,80	0,65
<i>Tulipa Gesneriana</i>	0,55	8,60	0,57
<i>Cyclamen europæum</i>	1,51	1,40	1,45
<i>Solanum tuberosum</i>	1,71	1,90	1,85
<i>Iris germanica</i>	0,45	0,60	0,48
<i>Gladiolus gandavensis</i>	0,52	0,90	0,65
<i>Helianthus tuberosus</i>	0,80	1,08	0,95
<i>Dahlia variabilis</i>	0,93	1,20	1,10
<i>Stachys tuberifera</i>	0,87	1,52	1,40
<i>Cyperus esculentus</i>	0,82	1,10	0,95
<i>Convallaria maialis</i>	0,29	0,50	0,30
<i>Anemone coronaria</i>	0,22	0,60	0,40
<i>Crocus vernus</i>	0,42	0,62	0,50
<i>Begonia erecta</i>	0,81	1,04	0,92
<i>Ranunculus asiaticus</i>	0,35	0,55	0,40

Cette augmentation de la température du tubercule, qui est générale, peut être interprétée de plusieurs manières :

1° Il est possible que ces tubercules ne soient plus, après un séjour de trois jours dans la terre, dans l'état de vie ralentie qu'ils présentaient quand on les a enterrés ; quelques-uns d'entre eux en effet avaient sensiblement changé d'aspect.

2° Il est possible aussi que l'évaporation superficielle dont la terre est le siège refroidisse celle-ci plus que les tubercules qui y sont plongés.

Pour tenir compte de cette dernière cause j'ai comparé la température du tubercule avec celle d'un morceau de moelle de sureau bien sèche, placée dans un tube à essai que j'enfonçai dans le sol ; au bout de deux heures environ, la moelle était à la température du sol ; puis, je plongeai l'une des aiguilles

thermo-électriques dans la moelle, l'autre dans le tubercule sur lequel j'opérais. J'ai alors observé pour presque tous les tubercules des excès de température intermédiaires aux deux nombres trouvés précédemment, et j'ai pu conclure de nombreuses expériences qu'à la température où j'opérais il fallait bien mettre en moyenne une diminution de 10 divisions ou deux cinquièmes de degré, sur le compte de l'évaporation du sol.

J'ai aussi cherché à tenir compte de l'influence exercée par la nature du sol en prenant pour terme de comparaison des tubercules morts, que je tuais en les mettant quelques instants dans de l'eau à 50 degrés ou bien en les empoisonnant avec de l'eau froide additionnée de chlorate de potasse ; je n'ai pas obtenu de bons résultats par cette méthode.

2° *Température des tubercules situés dans le sol, à l'état de vie manifestée.*

Mes expériences sur la température des tubercules à l'état de vie manifestée ont porté principalement sur les tubercules de *Stachys tuberifera*, de *Hyacinthus orientalis*, de *Crocus vernus*, de *Begonia erecta*, de *Tulipa Gesneriana*, de *Scilla maritima*.

1° *Observation des températures des bulbes de Tulipa Gesneriana.*

En faisant planter tous les huit jours un bulbe de Tulipe j'ai obtenu au bout de deux mois des individus de cette plante dans tous les états de développement, depuis le bulbe à l'état de vie ralentie que je venais de mettre dans le sol, jusqu'à l'individu défleuri qui avait épuisé le bulbe initial, et qui portait à sa base un ou plusieurs bulbes en voie de formation.

J'ai pu alors par de nombreuses expériences constater, à leurs différents âges, la différence de température de ces bulbes avec celle du sol, ou la différence de leur température entre eux.

Pour obtenir la différence de température des bulbes avec le sol, j'ai opéré, comme je l'ai indiqué pour les tubercules à l'état de vie ralentie, en enfonçant une aiguille thermo-électrique dans

le tubercule et l'autre dans le sol, ou dans la moelle de sureau.

Dans ces différentes expériences, je ne tiens pas compte de la température absolue du sol, qui n'a d'ailleurs varié que de 10 à 12°. Je ne tiens compte que de la température relative du sol et des bulbes, ou de la température relative des bulbes entre eux.

La manière d'opérer la plus rapide, ou plutôt la moins longue, consiste à enfoncer l'une des aiguilles dans de la moelle de sureau mise dans un tube à essai enfoncé dans la terre, ou encore dans le tubercule à l'état de vie ralentie, et l'autre aiguille dans le bulbe qui commence à entrer dans la vie manifestée. On voit l'image blanche du miroir du galvanomètre indiquer par son déplacement une augmentation de température du second tubercule par rapport au premier; le nombre des divisions de la règle indique la différence de température; quand, après quelques oscillations, l'image est redevenue immobile, on contrôle l'exactitude de l'indication en intervertissant la position des aiguilles, c'est-à-dire en mettant dans le second tubercule celle qui était dans le premier, et dans le premier celle qui était dans le second; la déviation de l'image dans le second cas doit être la même, ou à très peu près la même, que la déviation dans le premier cas; on prend la moyenne des deux indications; on fait le calcul de réduction à l'unité qui transforme le nombre de divisions en fractions de degré, et on obtient alors la différence de température des deux tubercules (fig. 63).

J'ai comparé huit tubercules de Tulipe dans des états de développement différents.

1. Tubercule à l'état de vie ralentie.

2. On voit dans ce deuxième tubercule émerger les feuilles vertes.

3. Les feuilles aériennes ont plusieurs centimètres.

4. On voit nettement le bouton de la fleur.

5. La fleur est épanouie.

6. La fleur se fane.

7. La fleur est passée.

8. Le fruit est développé.

J'ai pris pour terme de comparaison la température du tubercule 1 dans lequel j'ai fixé une aiguille thermo-électrique, puis j'ai successivement plongé l'autre aiguille dans les autres tuber-

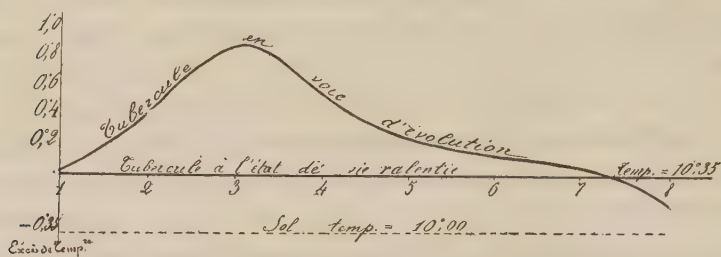


Fig. 63. — Courbe représentant les différences entre la température d'un bulbe de *Tulipa Gesneriana* à ses divers états de développement, et la température d'un bulbe de la même espèce à l'état de vie ralentie.

cules, en faisant comme toujours le contrôle après chaque expérience. J'ai aussi trouvé que la température du tubercule 2 était de $0^{\circ},40$ supérieure à celle du tubercule 1, le tubercule 3 de $0^{\circ},94$, le tubercule 4 de $0^{\circ},45$, le tubercule 5 de $0^{\circ},28$, le tubercule 6 de

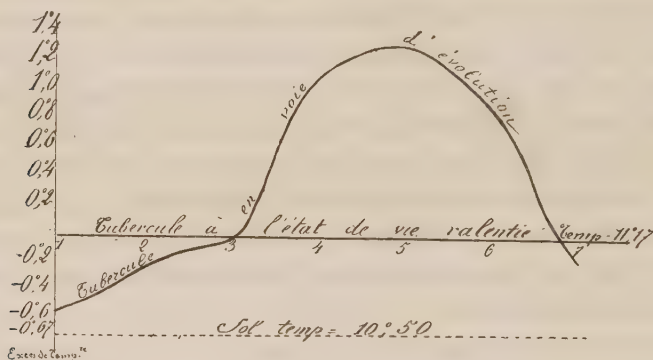


Fig. 64. — Courbe représentant les différences entre la température d'un tubercule de *Stachys tuberifera* à ses divers états de développement, et la température d'un tubercule de la même espèce à l'état de vie ralentie.

$0^{\circ},15$, le tubercule 7 de $0^{\circ},04$, le tubercule 8 était plus froid de $0^{\circ},21$.

On peut représenter par une courbe les variations de ces températures. Sur la ligne des abscisses je prends des longueurs qui représentent le nombre de jours depuis lesquels les tuber-

cules ont été mis dans le sol, et je prends les températures comme ordonnées. La température du sol était de 10° et l'excès de la température du tubercule à l'état de vie ralentie sur celle du sol était 0°,33.

La lecture de cette courbe nous montre que la température du bulbe de Tulipe s'élève rapidement quand ce dernier passe de l'état de vie ralentie à l'état de vie manifestée; elle montre aussi que le maximum a lieu au moment où le bouton va se former; avant même que le bouton soit visible la température cesse de s'élever autant, et enfin quand le fruit se développe, la température du tubercule, sans cesser d'être plus élevée que celle du sol, est moins élevée que celle du tubercule inactif.

2° *Observations des températures des tubercules de Stachys.*

En employant les mêmes procédés j'ai construit pour le *Stachys tuberifera* la courbe suivante pour les sept tubercules, sur lesquels j'ai expérimenté :

1. Tubercule très jeune en voie de formation;
2. Tubercule plus gros que le tubercule 1, mais descendant encore;
3. Tubercule au moment où il s'immobilise à l'état de vie ralentie;
4. Tubercule entrant dans la vie manifestée, les tiges minces ascendantes atteignent 2 centimètres;
5. Tubercule plus âgé : les tiges ascendantes atteignent le sol;
6. Tubercule donnant des tiges feuillées atteignant 10 centimètres;
7. Tubercule en voie de destruction.

Avec des tubercules de *Bégonias* inégalement développés et des tubercules de *Crocus* observés à différents degrés de développement j'ai pu construire de la même manière des courbes indiquant un maximum de température au moment de la formation des fleurs.

En laissant d'une manière permanente l'une des aiguilles dans le sol, ou mieux dans de la moelle de sureau placée dans un tube enfoncé dans le sol, on peut, quand la température du sol atteint 12 à 15 degrés, observer en quelques heures une déviation

sensible et suivre l'augmentation régulière de la température ; mais dans ce cas il faut à chaque observation tenir compte du déplacement du zéro de la graduation.

Presque toutes les expériences précédentes ont été contrôlées avec le thermomètre à mercure à petit réservoir, et les résultats des observations ont été presque toujours concordants à un dixième de degré près.

3° *Variations de température des bulbes de Scilla maritima.*

Pour observer d'une manière continue les variations de température d'un tubercule et les comparer aux variations du sol, j'ai employé les bulbes de *Scilla maritima* ; avec ces énormes bulbes du poids de près de 2 kilogrammes, les causes d'erreur dans les mesures des températures sont moins nombreuses et l'observation est plus rapide et plus facile. J'ai plongé un thermomètre très sensible, indiquant exactement les dixièmes de degré, dans l'intérieur du bulbe que j'ai mis dans la terre, j'ai placé un autre thermomètre absolument comparable dans le sol à côté du bulbe, et un troisième dans de la moelle de sureau isolée du sol, comme je l'ai déjà indiqué plus haut.

Les observations ont duré cinq mois, du mois de janvier au mois de juin.

Pour contrôler les observations, j'ai à plusieurs reprises interverti les thermomètres en plaçant dans la terre celui qui était dans le tubercule et inversement ; en quelques minutes les mêmes températures étaient de nouveau indiquées.

Voici les résultats de plus de cinq cents observations :

Quand le sol ne change pas rapidement de température, comme par exemple cela a lieu quand il vient à pleuvoir ou que le soleil donne sur le sol, les bulbes sont toujours à une température supérieure à celle du sol ; cet excès de température a été de un demi-degré environ en janvier, février ; en mars la moyenne a été de près de 1° ; en mai et commencement de juin la moyenne de l'excès de température a été encore plus élevée, il est de près de 1 degré et demi.

Quand les variations de température ont été brusques, j'ai observé plusieurs fois des différences dépassant 6 degrés, soit en

plus soit en moins; ces écarts considérables doivent certainement être mis uniquement sur le compte de la mauvaise conductibilité du bulbe par rapport à celle du sol; car on peut constater que le thermomètre mis dans la sciure de bois ou dans la moelle subit dans ce cas à peu près les mêmes écarts. Mais ce qui prouve la production de chaleur dans le bulbe, c'est que dans cette différence, si c'est le bulbe qui est le plus chaud, cet excès se maintient longtemps, l'abaissement ne se produit que très lentement; si, au contraire, c'est la terre qui est plus chaude que le bulbe, l'écart de température cesse quelquefois en moins de deux heures; la température du bulbe atteint bientôt celle du sol et ne tarde pas à la dépasser.

En général, à mesure que la température du sol s'abaisse, la différence de température entre les bulbes et le sol augmente; le tubercule résiste donc davantage au froid, à mesure que ce froid est plus intense; j'ai constaté plusieurs fois, quand le sol était au-dessous de zéro, des différences dépassant 3 degrés; le sol par exemple étant à -6° , les bulbes n'étaient qu'à -3° ; quand le sol dégela, la marche ascendante de la température du tubercule était très rapide, beaucoup plus rapide que celle de la sciure de bois ou de la moelle.

Un effet assez curieux sur la température du sol est celui causé par la pluie; j'ai constaté des abaissements de 8 degrés en une demi-heure causés par la pluie sur un sol sec à une profondeur de 10 centimètres; dans ce cas les températures des bulbes sur lesquels j'ai expérimenté étaient à peine influencées, et comme cet abaissement est généralement d'assez courte durée, il en résulte qu'il n'agit guère que sur les parties tout à fait extérieures du bulbe.

Une autre influence assez remarquable est celle de la neige: la température de l'air variant de 2 à 7 degrés au-dessous de zéro, la température de la neige mesurée par un thermomètre à minima à 3 centimètres de profondeur n'a jamais été inférieure à $-2^{\circ},5$, celle du sol à $-0^{\circ},5$; celle des bulbes est restée supérieure à $+2^{\circ}$.

On voit donc qu'en général les tubercules ont une température beaucoup moins variable que celle du sol, que leur tempé-

rature est presque toujours sensiblement supérieure à celle du sol, qu'ils se refroidissent très lentement, et se réchauffent très vite, ce qui ne peut s'expliquer que par une production de chaleur dans leur intérieur.

CONCLUSIONS

1° *Morphologie externe.* — Certains tubercules persistent pendant un grand nombre d'années (*Aquilegia vulgaris*, *Bryonia dioica*, *Campanula barbata*); en ce cas, les réserves s'y accumulent tous les ans à la fin de la saison, et se détruisent tous les printemps, à la manière des réserves qui s'accumulent ou se détruisent chaque année dans la tige des arbres.

Il existe aussi quelques tubercules, tels que ceux du *Lathyrus tuberosus*, qui mettent plusieurs années pour acquérir leur développement total et qui disparaissent ensuite complètement pour produire une plante nouvelle.

Mais la plupart des tubercules se développent et se détruisent pendant le passage d'une saison à l'autre; on pourrait dire que ce sont des tubercules annuels. C'est surtout pour cette catégorie d'organes souterrains tubérifiés qu'il y a lieu de faire les remarques suivantes.

J'ai dit dans l'introduction ce que Royer a appelé « loi de niveau », à savoir, que pour une plante donnée, dans des conditions extérieures toujours les mêmes, les réserves viennent se former dans le sol à une distance constante de la surface. Les cultures et les expériences que j'ai décrites plus haut vérifient cette loi d'une manière générale. J'ai fait voir en effet que les tubercules d'une plante se maintiennent sous le sol entre deux niveaux déterminés pour des conditions données, et que, si l'on change l'une de ces conditions (humidité, chaleur, etc.), la distance de ces niveaux à la surface du sol n'est plus la même.

Mais il faut bien remarquer que cette loi ne saurait s'appliquer aux tubercules vivaces, et c'est sans doute pour n'avoir pas fait cette distinction que Royer a vu formuler quelques objections importantes à son énoncé.

La manière dont les tubercules s'enfoncent dans le sol pour se placer à un niveau déterminé peut être tout à fait la même chez les plantes les plus différentes. C'est ainsi qu'une Labiée comme le *Stachys tuberifera* et une Cypéracée, comme le *Cyperus esculentus*, se comportent exactement de la même façon en enfonçant certains rameaux du haut en bas dans le sol. Ces rameaux absolument renversés, constituant des tiges à géotropisme positif, se terminent chacun par un renflement tuberculeux qui passe à l'état de vie ralentie.

Au printemps suivant, ces renflements, par leur bourgeon terminal tout au moins, produisent des tiges allongées qui se recourbent, et, douées alors de géotropisme négatif, viennent à la surface du sol et forment les tiges aériennes. L'enfoncement des tiges en sens inverse, avec emmagasinement de réserves à une certaine profondeur dans le sol, se retrouve, comme je l'ai montré, chez un grand nombre d'espèces.

J'ai fait voir aussi que si par une culture forcée en une saison différente de celle où se produit le développement normal, ou si par des changements brusques dans les conditions extérieures, on cherche à obtenir la germination de ces parties souterraines, les tubercules, au lieu de donner hâtivement les tiges aériennes, se déplacent et vont sous une autre apparence se reformer à un niveau différent.

D'autres tubercules produits par les tiges ont, comme on sait, une tendance à se développer horizontalement (plagiotropisme) ou à suivre une direction qui fait avec le plan horizontal un angle à peu près constant. J'ai fait voir, par l'étude de plusieurs de ces derniers tubercules, comment chaque année l'article nouveau formé s'enfonce dans le sol jusqu'à atteindre la même profondeur que l'article de l'année précédente.

2° *Anatomie.* — La morphologie externe ne suffit pas pour déterminer la nature des organes qui constituent un tubercule, et c'est pour s'être bornés à cette description extérieure des parties souterraines que plusieurs auteurs comme Germain de Saint-Pierre et même Royer ont commis d'importantes erreurs.

Ainsi que je l'ai fait remarquer dans l'Introduction, l'anatomie jointe à la morphologie externe ne suffit même pas dans tous les cas; il est alors nécessaire d'étudier la structure du tubercule aux divers stades de son développement.

Les tubercules les plus semblables en apparence peuvent être constitués par des membres de la plante différents. De plus, s'ils ont la même constitution, s'ils sont formés uniquement par la tige, je suppose, les tissus tubérifiés peuvent être de nature très diverse. Ou bien les réserves s'accumulent uniquement dans les formations secondaires (*Apios*) ou presque uniquement dans l'écorce primaire (*Crocus*), ou surtout dans la moelle (*Stachys*), ou encore presque uniquement entre les faisceaux (*Dioscorea*). On pourrait établir ainsi différentes catégories analogues pour les tubercules formés par la racine, etc.

Je me bornerai à donner dans le tableau suivant les divers groupes que j'ai adoptés pour classer les tubercules d'après leur nature morphologique :

I. — TIGE.

1. — Pas ou peu de formations secondaires.

1° Dicotylédones.

Ex. : *Stachys tubrifera*; *St. palustris*; *Oxalis crenata*; *Begonia erecta*; *Cyclamen europæum*, *Polygonum viviparum*; *Meyanthes trifoliata*.

2° Monocotylédones.

Ex. : *Cyperus esculentus*; *Veratrum album*; *Convallaria maialis*; *Polygonatum vulgare*; *Iris germanica*; *Avena elatior*; *Dioscorea Batatas*; *Smilax aspera*; *Crocus vernus*; *Gladiolus gandavensis*.

2. — Développement des formations secondaires.

Ex. : *Apios tuberosa*; *Helianthus tuberosus*; *Scrofularia nodosa*; *Epilobium Fleischeri*.

II. — RACINE.

1. — *Pas ou peu de formations secondaires.*

1° Dicotylédones.

Ex. : *Ranunculus asiaticus*; *Ranunculus monspessulanus*; *Ficaria ranunculoides*.

2° Monocotylédones.

Ex. : *Asphodelus albus*; *Simethis planifolia*; *Asparagus officinalis*.

2. — *Développement des formations secondaires.*

Ex. : *Spiræa Filipendula*; *Campanula barbata*; *Lathyrus tuberosus*; *Dahlia variabilis*; *Scorzonera hispanica*; *Aconitum Napellus*; *Pæonia officinalis*.

III. — TIGE ET RACINE.

Ex. : *Aquilegia vulgaris*; *Bryonia dioica*; *Ruta graveolens*; *Gaya simplex*; *Silene acaulis*; *Daucus Carota*; *Beta vulgaris*.

IV. — FEUILLES.

Ex. : *Oxalis Deppei*; *Oxalis Acetosella*; *Tulipa*; *Lilium*.

V. — TIGE, FEUILLES ET RACINE.

Ex. : *Anemone coronaria* (germant).

VI. — FLEURS.

Ex. : *Allium carinatum*; *Allium vineae*; *Nothoscordum fragrans*.

De toutes les descriptions anatomiques que j'ai données dans ce travail, il résulte que les tissus vasculaires et fibreux sont pro-

portionnellement beaucoup moins développés dans les parties tubérifiées. On pourrait dire que le nombre relatif de vaisseaux du bois et l'intensité de leur lignification se trouvent en sens inverse de la tubérification de l'organe considéré.

D'autre part, quelle que soit la nature des tissus où les réserves s'accumulent, les cellules qui les constituent sont à parois relativement minces et leur forme est peu allongée dans le sens de l'organe qui contient ces tissus. C'est de la sorte que le bois secondaire, le liber secondaire ou les tissus du péricycle prennent dans les tubercules la même apparence que les tissus de la moelle ou de l'écorce. Ainsi encore s'expliquent certaines erreurs des auteurs relativement à la constitution anatomique des tubercules.

3° *Composition chimique.* — La nature des substances mises en réserve dans les tubercules peut être, comme on sait, assez variée suivant les diverses plantes, et un même tubercule peut mettre en réserve plusieurs substances à la fois.

En général, on peut dire que les tubercules qui passent à l'état de vie très ralentie et qui, comme les graines, peuvent être conservés à l'état sec, contiennent presque uniquement des substances qui ne sont pas directement assimilables. C'est ainsi que la proportion des glucoses est d'autant moins grande que les tubercules sont plus voisins de l'état de vie latente.

L'amidon, l'inuline, les saccharoses, la gelactane, les glucoses, sont les substances les plus fréquemment mises en réserve dans les tubercules. On n'y trouve pas des provisions spéciales de cellulose, comme dans l'albumen de certaines graines, car les parois des cellules de réserve, ainsi que je viens de le dire, sont toujours relativement très minces.

Si l'on étudie les variations de la composition chimique d'un tubercule avec son développement, on voit que, pendant la période de destruction, la proportion des glucoses va toujours en augmentant d'une manière régulière. Elle passe par un *optimum*, puis diminue dans les dernières phases de la destruction du tubercule.

Je ferai remarquer, au sujet de cette destruction, que j'ai observé parfois des Champignons, et toujours des Bactéries, en abondance dans les tubercules en voie de dépérissement. Il n'est donc pas vrai de dire que la plante consomme entièrement par une digestion interne à l'aide de diastases les réserves qu'elle a emmagasinées dans ses tubercules. Une partie notable de ces réserves est toujours perdue pour la plante et consommée par des parasites.

4° Température. — D'une manière générale, j'ai trouvé que la température des tubercules est toujours supérieure à celle de la terre qui l'entoure. Ce n'est que lorsqu'un abaissement brusque de température se produit dans la terre, à la suite d'une pluie par exemple, que l'inverse peut avoir lieu accidentellement.

En déterminant, au moyen des aiguilles thermo-électriques, et du galvanomètre de Thomson, les différences de température entre un tubercule à l'état de vie très ralentie et un tubercule de la même espèce à divers états de son développement, j'ai observé les variations suivantes : la température du tubercule pendant la période où il se forme est d'abord inférieure à celle du tubercule à l'état de vie très ralentie, du moins dans le petit nombre de résultats que j'ai sur ce point ; pendant la période de destruction du tubercule, cette température relative va au contraire en augmentant, passe par un optimum qui varie suivant les espèces, puis diminue pendant la période de vie active.

Une comparaison des différences de température avec la température que présente un corps inerte analogue tel qu'un morceau de bois ou de la moelle de sureau m'a fait voir que la conductibilité seule ne produit pas ces différences : la mauvaise conductibilité des enveloppes du tubercule (écailles, liège, sclérenchyme) joue certainement un rôle dans le retard d'équilibre entre la température du tubercule et le milieu extérieur, mais la grandeur des différences observées, et surtout les variations avec le développement, ne peuvent s'expliquer que par un dégagement de chaleur produit par le végétal.

On voit donc que, par la mauvaise conductibilité de leurs

parties périphériques et par le dégagement de chaleur qu'ils produisent, les tubercules, placés en général à une certaine profondeur dans le sol, peuvent résister dans des limites étendues aux variations de la température extérieure.

5° *Poids sec.* — Le rapport du poids sec des tubercules à leur poids frais est très variable non seulement avec les espèces, mais encore suivant la période de développement que l'on considère chez une même plante.

La proportion d'eau des tubercules peut surpasser celle des parties aériennes et atteindre jusqu'à 92 pour cent (*Dahlia*) ou au contraire s'abaisser jusqu'à être comparable à la proportion d'eau contenue dans les graines, par exemple 12,7 pour cent (*Cyperus esculentus*). Mais dans presque tous les cas cette proportion d'eau diminue pendant la formation des tubercules et augmente pendant leur germination, passant par un minimum qui correspond le plus souvent à l'état de vie ralentie.

Si l'on considère maintenant la variation des poids secs comparés entre eux, indépendamment de la proportion d'eau, on constate que le poids sec d'un tubercule (rapporté à un gramme du tubercule à l'état de vie ralentie) passe par un maximum qui coïncide, en général, avec la période de son développement où il est le plus voisin de la vie latente.

Ce travail a été fait au laboratoire de Botanique de la Sorbonne, sous la direction de M. le professeur Gaston Bonnier, qui a mis à ma disposition tout ce qui est nécessaire pour mes recherches ; je suis heureux de lui adresser ici tous mes remerciements pour les conseils qu'il a bien voulu me donner.

EXPLICATION DES PLANCHES 19, 20, 21 et 22.

(Phototypographies directes sur cuivre)

Planche 19.

Fig. 1. — Coupe transversale de la partie tubérifiée d'une racine de *Spiræa Filipendula*, correspondant au trait P de la figure 46.

Fig. 2. — Coupe transversale d'une racine charnue de *Menyanthes trifoliata*, montrant le cylindre central lignifié et le parenchyme lacuneux de l'écorce.

Planche 20.

Fig. 3. — Coupe transversale d'une partie du rhizome de *Menyanthes trifoliata*, montrant le parenchyme de la moelle (à droite vers le bas), ayant des lacunes comme celui de l'écorce (à gauche vers le haut).

Fig. 4. — Coupe transversale faite au nœud d'un rhizome tubérifié d'*Avena elatior*, montrant les faisceaux libéro-ligneux, coupés presque transversalement vers le bord de la tige (en haut de la figure), et obliquement dans la partie médiane.

Planche double (21 et 22).

Appareil pour mesurer la température des tubercules. — On voit, à droite, le galvanomètre de Thomson relié par des fils conducteurs aux aiguilles thermo-électriques. Celles-ci (vers la gauche de la figure) sont implantées dans deux tubercules de Tulipes à des états différents de leur développement. Vers le milieu de la figure on voit la règle graduée, en corne, sur laquelle vient se projeter l'image d'une lumière réfléchie par le miroir du galvanomètre.

Vu et approuvé, Paris, le 20 juin 1889.

Le Doyen de la Faculté des Sciences,

E. HÉBERT.

Vu et permis d'imprimer, le 20 juin 1889.

Le Vice-Recteur de l'Académie de Paris,

GRÉARD.

DEUXIÈME THÈSE

PROPOSITIONS DONNÉES PAR LA FACULTÉ

ZOOLOGIE. — L'organe de l'ouïe dans la série animale.

GÉOLOGIE. — De l'Éocène supérieur au sud du plateau central.

Vu et approuvé, Paris, le 20 juin 1889.

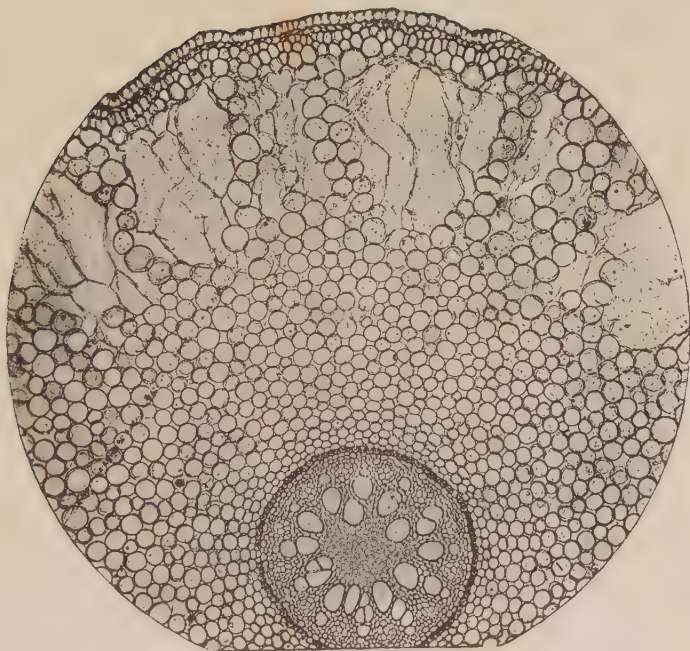
Le Doyen de la Faculté des Sciences,

E. HÉBERT.

Vu et permis d'imprimer, le 20 juin 1889.

Le Vice-Recteur de l'Académie de Paris,

GRÉARD.



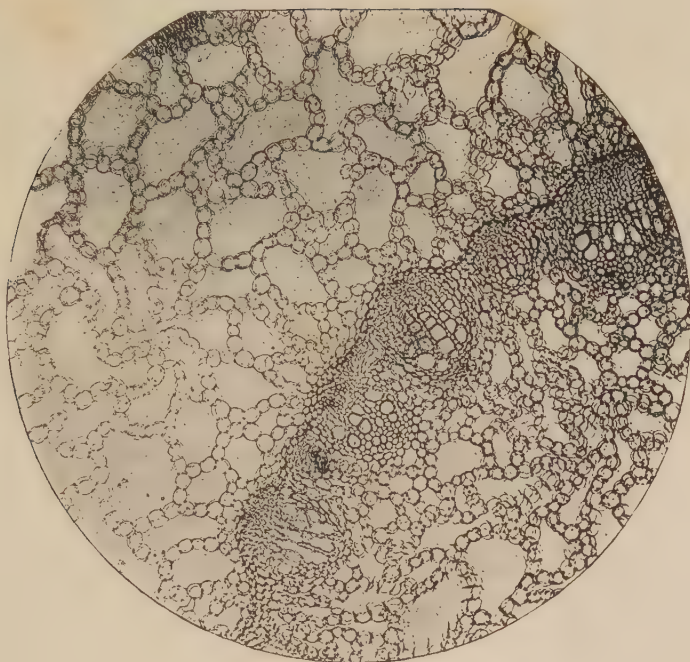
A. Seignette dir.

G. Colomb phot. lab. Sorb.

Recherches sur les tubercules.

1. *Spiræa Filipendula* (racine). — 2. *Menyanthes trifoliata* (racine).

Phototyp. Ch. G. Petit. — Imp. Jules Crété, Corbeil.



3



4

A. Seignette dir.

G. Colomb phot. lab. Sorb.

Recherches sur les tubercules.

3. *Menyanthes trifoliata* (rhizome). — 4. *Avena elatior* (rhizome).

Phototyp. Ch. G. Petit. — Imp. Jules Crété, Corbeil.

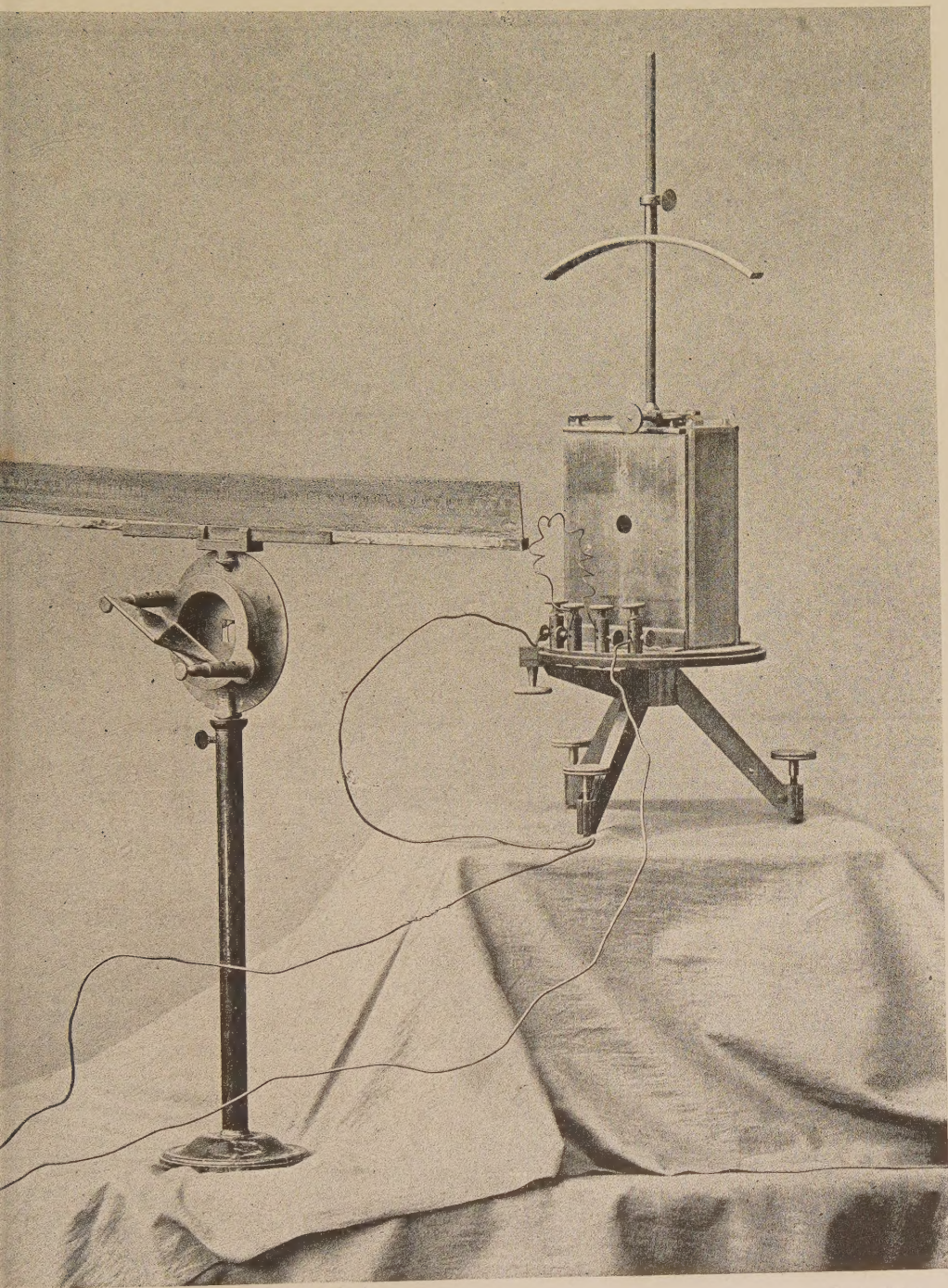




A. Seignette dir

Appareil pour mesur

Imp



Ch. G. Petit sc.

température des tubercules.

Creté, Corbeil.

